

Effekte metakognitiver Prompts beim computerbasierten Statistiklernen

Michael Tyroller



München 2005

Effekte metakognitiver Prompts beim computerbasierten Statistiklernen

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Philosophie
an der
Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von
Michael Tyroller

München, 2005

Referent: Prof. Dr. Heinz Mandl

Korreferent: Prof. Dr. Robin Stark

Datum der mündlichen Prüfung: 18.07.2005

Diese Arbeit entstand im Rahmen eines DFG-Projekts zu „instruktionalen Maßnahmen zur Unterstützung beispielbasierten Lernens im Bereich empirischer Forschungsmethoden“ am Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie der Universität München

"Das Ignorieren der Wahrheit der Praxis
als gelehrte Ignoranz liegt unzähligen
theoretischen Irrtümern zugrunde."

(Pierre Bourdieu, Entwurf einer Theorie der Praxis)

Inhaltsverzeichnis

1. Ziele und Überblick.....	1
2. Lehren und Lernen im Bereich Statistik.....	6
2.1 Aspekte von Lernprozessen und Lernvoraussetzungen im Bereich des Statistik-Lernens	7
2.1.1 Kognitive Aspekte des Statistik-Lernens.....	8
2.1.2 Motivationale Aspekte des Statistik-Lernens	19
2.1.3 Metakognitive Aspekte des Statistik-Lernens	26
2.1.4 Andere Lernvoraussetzungen und Lernermerkmale.....	37
2.2 Instruktionale Ansätze im Bereich Statistik.....	39
2.2.1 Statistik-Lernen mit computerbasierten Lernumgebungen	41
2.2.2 Beispielbasiertes Lernen	45
2.2.3 Beispiel: Die Lernumgebung <i>NetBite</i>	49
3. Konzeption der computerbasierten Lernumgebung <i>Koralle</i>.....	55
3.1 Zielgruppe und Lernsituation.....	55
3.2 Technische und ökonomische Rahmenbedingungen.....	56
3.3 Lehr- und Lerninhalte	57
3.3.1 Der Korrelationsbegriff.....	57
3.3.2 Fehlkonzepte in Bezug auf den Korrelationsbegriff.....	60
3.4 Allgemeine Lehr/Lernziele	61
3.5 Designprinzipien und Gestaltungsmerkmale	62
4. Fragestellungen und Ableitung der Hypothesen	75
4.1 Fragen zum Einfluss der Lernumgebung und des metakognitiven <i>Prompting</i> auf den Lernerfolg sowie zur Nachhaltigkeit der erzielten Effekte.....	75

4.2	Fragen zum Lernprozess und zum Wirkmechanismus des metakognitiven <i>Prompting</i>	77
4.3	Fragen zum Zusammenhang zwischen verschiedenen Lernvoraussetzungen und Aspekten des Lernerfolgs.....	79
5.	Methode	82
5.1	Probanden	82
5.2	Design	84
5.3	Metakognitives <i>Prompting</i> versus kein metakognitives <i>Prompting</i>	84
5.4	Kategoriensystem, Ratingprozedur und Raterübereinstimmung	85
5.5	Versuchsablauf.....	87
5.6	Instrumente	92
5.6.1	Kognitive und metakognitive Lernvoraussetzungen	92
5.6.2	Motivationale Lernvoraussetzungen.....	96
5.6.3	Abhängige Motivationsvariablen.....	96
5.6.4	Nachtest	97
6.	Ergebnisse und Diskussion	99
6.1	Vergleichbarkeit der Untersuchungsgruppen	99
6.1.1	Vergleichbarkeit von Kontrollgruppe und Experimentalgruppe.....	99
6.1.2	Vergleichbarkeit der beiden Experimentalgruppen	101
6.1.3	Realisierte Lernzeit	105
6.2	Einfluss der Lernumgebung und des metakognitiven <i>Prompting</i> auf den Lernerfolg (Ergebnisse zu den Fragen 4.1.1 bis 4.1.4).....	106
6.2.1	Einfluss der Lernumgebung auf den Lernerfolg (Fragen 4.1.1 und 4.1.2).....	106
6.2.2	Einfluss des metakognitiven <i>Prompting</i> auf den Lernerfolg (Fragen 4.1.3 und 4.1.4).....	112
6.2.3	Zusammenfassung und Diskussion.....	116

6.3	Zum Wirkmechanismus des metakognitiven <i>Prompting</i> (Ergebnisse zu den Fragen 4.2.1 bis 4.2.4).....	117
6.3.1	Metakognitives <i>Prompting</i> und metakognitive Kompetenzen (Frage 4.2.1)	117
6.3.2	Einfluss des metakognitiven <i>Prompting</i> auf Aspekte der Motivation (Frage 4.2.2).....	121
6.3.3	Einfluss des metakognitiven <i>Prompting</i> auf Aspekte des Nutzungsverhaltens (Frage 4.2.3).....	122
6.3.4	Begründung von Lernentscheidungen unter metakognitivem <i>Prompting</i> (Frage 4.2.4).....	124
6.3.5	Zusammenfassung und Diskussion.....	128
6.4	Zusammenhang von Lernermerkmalen mit Lernprozess und Lernerfolg (Ergebnisse zu den Fragen 4.3.1 bis 4.3.4).....	130
6.4.1	Identifikation verschiedener Merkmalsprofile (Frage 4.3.1).....	130
6.4.2	Lernerfolg in Abhängigkeit von den Merkmalsprofilen (Frage 4.3.2).....	134
6.4.3	Lernzeit und Nutzungsverhalten in Abhängigkeit von den Merkmalsprofilen. (Frage 4.3.3).....	136
6.4.4	Akzeptanz der Lernumgebung und subjektiver Lernerfolg in Abhängigkeit von den Merkmalsprofilen (Frage 4.3.4).....	138
6.4.5	Zusammenfassung und Diskussion.....	139
7.	Gesamtdiskussion und Konsequenzen.....	142
	Literaturverzeichnis	148
	Anhang.....	170
	Danksagung	197

1 Ziele und Überblick

Die vorliegende Arbeit ist in zweifacher Weise *praktisch*. Zum einen insofern, als mit der hier vorgestellten Konzeption und Erprobung einer computerbasierten Lernumgebung eine konkret-praktische Problemstellung aufgegriffen wird. Diese ergab sich aus der Umsetzung und Evaluation verschiedener instruktionaler Maßnahmen im Rahmen einer Reform der Methodenausbildung am Institut für Pädagogische Psychologie und Empirische Pädagogik an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Den instruktionalen Kern dieser Reformbemühungen bildet das *Lernen mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen* (synonym: *beispielbasiertes Lernen*; die Begriffe *Lösungsbeispiel* und *Beispiel* werden hier ebenfalls synonym verwendet), eine Lehr/Lernmethode, die sich auch in anderen Domänen vielfach bewährt hat.

Zum anderen wurden bei der Konzeption dieser Lernumgebung Theorien und Konzepte unterschiedlicher Provenienz praktisch umgesetzt bzw. angewandt und erprobt. Die Auswahl dieser Theorien und Konzepte erfolgt dabei vor allem unter dem Primat der Bewältigung von Problemen der instruktionalen Praxis. Im Zuge der Weiterentwicklung und Ergänzung der bisherigen Reformmaßnahmen in der Methodenausbildung bilden auch hier Prinzipien des beispielbasierten Lernens den instruktionalen *Überbau*.

Mit der skizzierten, in verschiedener Hinsicht pragmatischen Vorgehensweise wird eine Forschungsperspektive eingenommen, die als integrative Forschungsstrategie (Stark, 2001; 2004a) von Überlegungen zum Theorie-Praxis-Problem ausgehend konzeptualisiert wurde. Im Rahmen dieses Paradigmas „werden Ziele auf einer methodologischen und einer instruktionalen Ebene verfolgt, die in einer komplexen Wechselbeziehung zueinander stehen“ (Stark, Hinkofer & Mandl, 2001). Vereinfacht formuliert soll durch explizit anwendungsbezogene Generierung wissenschaftlichen Wissens und der Implementation und Evaluation dieses Wissens in der Praxis – beispielsweise in

Form von innovativen Lernumgebungen - ein Beitrag zur Reduktion der Kluft zwischen Theorie und Praxis geleistet werden. Ein Schwerpunkt dieses Ansatzes liegt folgerichtig in der *sukzessiven Optimierung* (Stark, 2001; 2004a) von Instruktionstheorien durch deren experimentelle Überprüfung und Anwendung in der Praxis. Der Aspekt der *sukzessiven Optimierung* soll auch mit der vorliegenden Arbeit aufgegriffen werden, denn die hier vorgestellte Lernumgebung *Koralle* wurde als Weiterentwicklung bzw. Ergänzung einer im Rahmen der Methodenreform entwickelten computer- bzw. webbasierten Lernumgebung (*NetBite*) konzipiert. Zur Lernumgebung *NetBite*, bei der Prinzipien beispielbasierten Lernens implementiert wurden, liegen inzwischen eine Reihe von Evaluationsbefunden vor (Stark, 2001, Stark, 2004b; Stark & Mandl, 2005), welche die Nützlichkeit der am beispielbasierten Lernen orientierten Designstrategie unterstreichen (vgl. hierzu auch Gerjets, Scheiter & Tack, 2000 und 2003). Allerdings wurde auch einmal mehr deutlich, welche bedeutende Rolle der Fähigkeit zum sogenannten *selbstgesteuerten Lernen* im Umgang mit komplexem Lernmaterial zukommt – in diesem Punkt konvergieren die Evaluationsbefunde mit Befunden aus anderen Studien zum computer- bzw. webgestützten Lernen (Ertmer & Newby, 1996; Jacobson & Spiro, 1995; Land & Green, 2000; Schraw, 1998). Insbesondere zeigte sich, dass viele Lernende *metakognitive* Defizite aufweisen und die Möglichkeiten von *NetBite* deshalb nur unzureichend nutzen konnten (Stark, 2001; Stark & Mandl, 2005). Auch dieses Problem hat ubiquitären Charakter. Das Lernen mit neuen Medien ist an Voraussetzungen gebunden, über die Lernende im Allgemeinen nicht verfügen (Fischer & Mandl, 2002). Das wird besonders deutlich, wenn Lernende sich als Novizen einem neuen Inhaltsbereich nähern. In diesem Fall können mangelnde metakognitive Kompetenzen und unzureichendes Strategiewissen nicht kognitiv kompensiert werden. In einem für viele Studenten kognitiv besonders anspruchsvollen Bereich wie Statistik gesellen sich außerdem zu mangelndem Vorwissen noch weitere ungünstige motivationale und emotionale Lernvoraussetzungen - eine Kombination, die das Fach Statistik für viele zu einem ausgesprochenen Problemfach werden lässt. Problematischerweise ist in

den Fällen, in denen Lernende bereits über Vorwissen in Bezug auf statistische Inhalte verfügen, nicht unbedingt damit zu rechnen, dass sich dies günstig auf den Erwerb neuer Kenntnisse auswirken wird. Dieser Umstand ist vor allem darauf zurückzuführen, dass Lernende in Bezug auf bestimmte Termini der Statistik, wie *Zufall*, *repräsentativ*, *Wahrscheinlichkeit* usw. bereits über einen Bestand an Konzepten, Prinzipien und Überzeugungen verfügen, die sich zwar für den Alltagsgebrauch als heuristisch nützlich erweisen mögen, im Rahmen statistischer Urteilsbildung aber als inkorrekt oder zumindest unpräzise zu betrachten sind und somit mit erfolgreichem Lernen interferieren.

Vor dem Hintergrund der Bedeutung, welche den beschriebenen Lernvoraussetzungen gerade für das Statistiklernen zukommt, ist eine differentialpsychologische Betrachtung der Lernwirksamkeit einer Lernumgebung angezeigt. Deshalb werden in der vorliegenden Studie auch Zusammenhänge zwischen motivationalen, metakognitiven und kognitiven Lernermerkmalen und Aspekten des Lernprozesses sowie des Lernerfolgs untersucht. Neben Fragen zu Lernvoraussetzungen sind aus instruktionspsychologischer Perspektive auch die motivationalen *Konsequenzen* des Lernens mit Lösungsbeispielen in einer computerbasierten Lernumgebung relevant. Im Sinne einer Förderung *selbstgesteuerten* Lernens (Friedrich & Mandl, 1997) wäre vom Einsatz einer Lernumgebung abzuraten, die sich zwar in kognitiver Hinsicht bewährt, aber zu negativen motivationalen Effekten führt, etwa indem sie das Erleben von Autonomie und positive Selbstwirksamkeitserwartungen der Lernenden „untergräbt“ (vgl. Stark, 1999).

Insgesamt wurde dem Thema *selbstgesteuertes Lernen* bei der Konzeption der neuen Lernumgebung besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Durch adaptivere Gestaltung der neuen Lernumgebung im Vergleich zu *NetBite* sollten mehr Möglichkeiten für selbstgesteuertes Lernen eröffnet werden und möglichst günstige Bedingungen für Lernende mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen geschaffen werden. In diesem Sinne wurde außerdem versucht, Lernende, deren Fähigkeit selbstgesteuert zu lernen schwach ausgeprägt ist, zusätzlich instruktional zu unterstützen. Dies geschah durch Implementation einer

metakognitiven Promptingmaßnahme, mit der gezielt metakognitive Prozesse, die einen zentralen *Funktionsbereich* selbstgesteuerten Lernens darstellen (Brunstein & Spörer, 2001), aktiviert werden sollen. Das Design einer solchen Maßnahme stellt allerdings keineswegs eine triviale Aufgabe dar. Verschiedene Studien zeigen, dass zusätzliche instruktionale Hilfen oft nicht die erwünschten lernförderlichen Effekte hervorbringen, sondern kognitive Kapazitäten binden, die dann nicht für lernbezogene Prozesse zur Verfügung stehen. Auch über negative motivationale Effekte wird berichtet (vgl. Bannert, 2003; Stark, 2001; Gerjets, Scheiter & Schuh, 2005). Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Untersuchung neben der Erprobung der Lernumgebung als Ganzer die implementierte Promptingmaßnahme einer systematischen laborexperimentellen Prüfung unterzogen.

Der Theorieteil der vorliegenden Arbeit weist folgende Struktur auf:

In **Kapitel 2** werden zunächst kognitive, motivationale und metakognitive Bedingungen des Statistiklernens behandelt und instruktionale Konsequenzen erörtert. Im Zusammenhang mit den metakognitiven Aspekten des Statistiklernens werden insbesondere indirekte Maßnahmen zur metakognitiven Unterstützung beschrieben, wie der Einsatz von metakognitiven Prompts. Im Anschluss werden instruktionale Ansätze im Bereich des Statistiklernens mit computerbasierten Lernumgebungen vorgestellt und diskutiert. Das Lernen mit Visualisierungen und Computersimulationen, dem in der Lehr/Lernforschung zu Statistik eine besondere Bedeutung zukommt, wird dabei besonders berücksichtigt. Abschließend wird das beispielbasierte Lernen beschrieben und die Umsetzung von Prinzipien beispielbasierten Lernen in einer computerbasierten Lernumgebung am Beispiel der Lernumgebung *NetBite* expliziert.

Die in **Kapitel 3** beschriebene Konzeption der neuen Lernumgebung stützt sich auf die im zweiten Kapitel geleistete theoretische Vorarbeit. Es werden die statistischen Lehr/Lerninhalte vorgestellt und deren didaktische Umsetzung anhand zentraler Gestaltungsmerkmale aufgezeigt.

Kapitel 4 leitet den empirischen Teil der Arbeit ein. Es werden Forschungsfragen formuliert und begründet.

In **Kapitel 5** erfolgt eine Beschreibung der Probanden, des Untersuchungsdesigns, der Versuchsdurchführung und der verwendeten Instrumente und Erhebungsverfahren.

Die Ergebnisse der Untersuchung werden in **Kapitel 6** dargestellt und diskutiert. Zur Sicherung der internen Validität wird vorab geprüft, inwieweit die verschiedenen Untersuchungsgruppen vergleichbar sind. Anschließend werden Befunde zu den Forschungsfragen vorgelegt und diskutiert: Der Einfluss der Lernumgebung und des metakognitiven Prompting auf den Lernerfolg; Ergebnisse zur Wirkungsweise des metakognitiven Prompting auf Lernerfolg, Motivation und Lernprozess; Zusammenhänge zwischen Lernermerkmalen einerseits und Lernerfolg, Lernprozess und Motivation andererseits.

Im **Kapitel 7** werden zentrale Befunde zusammengefasst und diskutiert. Darüber hinaus werden Konsequenzen für die Forschung und die instruktionale Praxis formuliert.

2 Lehren und Lernen im Bereich Statistik

Es ist kein Geheimnis: Der Umgang mit statistischen Problemstellungen bereitet vielen Menschen ernsthafte Schwierigkeiten (vgl. Snee, 1993). Besonders deutlich wird dies im Kontext der universitären Methodenausbildung in den wirtschafts- und sozialwissenschaftlichen Studiengängen (vgl. z. B. Litz, 1998; Schulmeister, 1997). Es wird nicht leicht sein, ein Gebiet zu finden, in dem der in der Regel betriebene didaktische Aufwand in einem ähnlich ungünstigen Verhältnis zum erzielten Ertrag steht (Stark, 2001, vgl. auch Gal & Ginsburg, 1994). Hohe Durchfallquoten, die weit über der Misserfolgsrate in anderen Pflichtfächern liegen, sprechen eine deutliche Sprache. Selbst nach bestandener Statistikausbildung zeigen Studierende elementare Schwierigkeiten (Litz, 1998). Eine Vielzahl von Inhalten bereitet jedoch nicht nur Studierenden große Verständnisprobleme. Selbst Wissenschaftler, die bereits über einige Forschungserfahrung verfügen, haben bisweilen erhebliche Probleme bei der Anwendung statistischer Verfahren (Clayden & Croft, 1990; Cohen, 1990, 1992, 1994; Dar, Serlin & Omer, 1994; Greer & Semrau, 1984; Meehl, 1978, 1990; Sedlmeier & Gigerenzer, 1989; Stelzl, 1982; Wottawa, 1990). In einer Studie von Oakes (1986), die im deutschen Sprachraum repliziert werden konnte (Haller, 1999), wurde deutlich, dass selbst für Psychologen, die in Wissenschaft und Lehre tätig sind, die korrekte Interpretation einfacher Signifikanztests keine Selbstverständlichkeit ist.

So ist es nicht erstaunlich, dass Statistik unter Studierenden *und* Lehrenden als ein ausgesprochenes *Problemfach* gilt (vgl. z. B. Cobb, 1993; Garfield, 1995; Garfield & Ahlgren, 1988; Gordon, 1995; Schutz, Drogosz, White & Distefano, 1998; Stark, 2001). Angesichts der Bedeutung, die methodischen Kompetenzen in den sozialwissenschaftlichen Studiengängen zukommt, sind diese Probleme keineswegs trivial (vgl. Broers, 2002).

Vor diesem Hintergrund lassen sich die extensiven Forschungsanstrengungen verstehen, die sich insbesondere seit den 90er Jahren der Verbesserung der Lehre im Bereich Statistik widmeten (siehe dazu Becker, 1996; Broers, 2001; Lovett, 2001). Neben dieser instruktional-pädagogischen Perspektive besteht jedoch spätestens seit der sogenannten kognitiven Wende in der Psychologie ein theoretisches Interesse an der Erforschung der kognitiven Prozesse, die dem Lernen im Allgemeinen und dem statistischen Denken, Urteilen und Schließen im Besonderen zugrunde liegen. Nicht weniger wichtig ist jedoch die Kenntnis über die Wirkung motivationaler Faktoren auf den Lernprozess und den Lernerfolg. Denn ähnlich wie beim Erwerb mathematischer Kenntnisse verfügen Lernende in der Regel über ausgesprochen ungünstige motivationale Lernvoraussetzungen, Einstellungen und Erfahrungen, wenn es um die Beschäftigung mit statistischen Inhalten geht (Stark, 2001). Zuletzt wird beim Design von Lernumgebungen und bei der Unterrichtsgestaltung auch die Bedeutung metakognitiver Aspekte beim Lernen mehr berücksichtigt. Dieser Umstand lässt sich u. a. auch darauf zurückführen, dass vor dem Hintergrund technologischer Innovationen einerseits und knappen Ressourcen (Räume, Lehrpersonal usw.) andererseits multimediale Lernumgebungen auch in der Statistik-Lehre verstärkt Einsatz finden. Gerade diese modernen Lernmethoden erfordern aber in der Regel ein größeres Maß an metakognitiver Kompetenz bzw. Kompetenz im selbstgesteuerten Lernen – Fähigkeiten, welche die Lernenden zumeist in ungenügendem Umfang besitzen (z.B. Fischer & Mandl, 2002; Tergan, 1997).

2.1 Aspekte von Lernprozessen und Lernvoraussetzungen im Bereich des Statistik-Lernens.

Im Folgenden werden kognitive, motivationale und metakognitive Aspekte des Lernens im Bereich Statistik beschrieben und daraus, soweit möglich, Implikationen für die instruktionale Praxis entwickelt. Außerdem werden andere

Lernermerkmale wie Geschlecht, Einstellungen gegenüber Statistik und emotionale Lernvoraussetzungen, die bei der Konzeption der Lernumgebung *Koralle* eine untergeordnete Rolle spielen, überblickshaft dargestellt. Im nachfolgenden Kapitel werden dann spezifische instruktionale Ansätze vorgestellt. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Beschreibung und Diskussion netz- bzw. computerbasierter Statistik-Lernumgebungen und den in ihnen implementierten instruktionalen Strategien, von denen das *Lernen mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen* im Rahmen dieser Arbeit ebenfalls eine hervorgehobene Bedeutung hat.

2.1.1 Kognitive Aspekte des Statistik-Lernens

Theoretische Vorüberlegungen

Ein Verständnis derjenigen kognitiven Prozesse, die dem Erwerb statistischen (Handlungs-)Wissens zugrunde liegen, setzt voraus, dass geklärt ist, worin statistisches Wissen überhaupt besteht. Gegenwärtig haben sich hier insbesondere im Rahmen der von Garfield und Gal (1999) als „assessment revolution“ bezeichneten Unterrichtsreformbewegung drei Konzepte durchgesetzt, die zunächst einmal verschiedene Wissensbereiche heuristisch voneinander abgrenzen: Konzeptuelles Verstehen (z. B. Huberty, Dresden & Byung-Gee, 1993; Schau & Mattern, 1997), statistisches Schließen (statistical reasoning) (z. B. Chervany, Benson, & Iyer, 1980; Chervany, Collier, Fienberg, Johnson & Neter, 1977) und statistisches Denken (statistical thinking) (z. B. Chance, 2002; Wild & Pfannkuch, 1999). Es besteht außerdem ein gewisser Konsens darüber, dass diese Wissensbereiche hierarchisch aufeinander bezogen sind (siehe z. B. delMas, 2002 für ein alternatives Konzept): Statistisches Schlussfolgern setzt konzeptuelles Verstehen voraus, statistisches Denken wiederum markiert eher eine allgemeine Denkhaltung, wie sie z. B. Experten zu eigen ist und auf der Grundlage von Erfahrungen und Reife im statistischen Schlussfolgern in unterschiedlichsten Problemkontexten erworben wurde.

Der Nutzen dieser Taxonomie liegt u.a. darin, Basis für eine Verständigung darüber zu liefern, welche Lehr/Lernziele ein statistisches Curriculum sinnvollerweise überhaupt ansteuern sollte. Für viele Grundlagenfragen bleibt sie jedoch zu vage und atheoretisch. Broers (2001, 2002) hat deshalb vorgeschlagen, die unterstellte Wissenshierarchie im Rahmen einer repräsentationalistischen Begrifflichkeit insbesondere mit Bezug auf schematheoretische Überlegungen zu modellieren. Demnach lässt sich Wissen (genauer: dessen mentale Repräsentation) in einzelne mentale Bestandteile zerlegen, wobei Propositionen die kleinsten Einheiten einer mentalen Struktur darstellen. Propositionen sind, etwas vereinfachend formuliert, die repräsentationalen Korrelate von einfachen Behauptungssätzen, wie z. B. „der Pearsonsche Korrelationskoeffizient r_{xy} ist ein Maß für lineare Zusammenhänge“ oder „ $-1 \leq r_{xy} \leq +1$ “. Schemata wiederum sind organisierte Wissensstrukturen. (Einen Überblick zur Schematheorie liefern z. B. Brewer und Nakamura (1984) und Van Merriënboer (1997). Letzterer fokussiert vor allem auf die instruktionalen Implikationen schematheoretischer Ansätze.) Sie lassen sich, abermals vereinfachend, als repräsentationale Korrelate von Konzepten bzw. Begriffen (siehe z. B. Brewer, 1993), wie z. B. dem Begriff der Korrelation, auffassen. In ihnen sind propositionale Wissenseinheiten zu einem größeren Netzwerk (Rumelhart, 1980) verbunden und sie können selbst wiederum als Subschemata Bestandteil eines hierarchisch übergeordneten Schemas werden. Nach dieser holistisch zu nennenden Auffassung bedeutet es z. B., den Begriff der Korrelation nach Pearson zu verstehen (conceptual understanding), wenn man weiß, dass der Pearsonsche Korrelationskoeffizient r_{xy} ein Maß für lineare Zusammenhänge ist oder dass $-1 \leq r_{xy} \leq +1$. Umgekehrt ist die Kenntnis einzelner oder auch aller Propositionen (solange diese nicht entsprechend miteinander verknüpft sind) noch keine hinreichende Bedingung für konzeptuelles Verstehen. Wissenserwerb besteht folglich in der allmählichen Integration von Propositionen in ein bestehendes Schema bzw. in der Veränderung oder Eliminierung „ganz oder teilweise inkorrekt“ (Broers, 2002) Propositionen innerhalb eines Schemas (siehe dazu auch Marshall, 1995). Neben propositionalen Repräsentationen gibt es jedoch auch solche, die eher analog strukturiert sind, d. h. sie repräsentieren die

Wirklichkeit kraft einer (funktionalen oder strukturellen) analogen Beziehung (z. B. aufgrund räumlich-visueller Ähnlichkeit im Falle einer mentalen Landkarte) und haben daher oft bildhaften Charakter. In diesen Fällen spricht man von sogenannten mentalen Modellen (Johnson-Laird, 1980, 1983) (für eine alternative Konzeptualisierung von mentalen Modellen siehe Brewer, 1987). Sie eignen sich vor allem zur Darstellung neuer und räumlich-visueller Information (Brewer, 1987) und lassen sich ebenso wie propositionale Strukturen in bestehende Schemata integrieren. Beispielweise wird ein Experten-Schema des Korrelationsbegriffs neben propositionalen Bestandteilen auch analoge Präsentationen enthalten, die beispielsweise dafür sorgen, dass eine konkrete Verteilung von Datenpunkten in einem Streudiagramm als Beispiel für einen linearen Zusammenhang erkannt wird.

Neben schematheoretischen Modellbildungen haben sich auch andere, mehr oder weniger ähnliche repräsentationalistische Ansätze bei der Konzeptualisierung statistischen Wissens als zumindest heuristisch nützlich erwiesen. Beispielhaft sei hier auf die Arbeit von Marsha Lovett verwiesen (Lovett, 2001), die statistisches Wissen, insbesondere den Bereich des statistischen Schlussfolgerns (statistical reasoning), im Rahmen der ACT-R-Theorie von Anderson (Anderson & Lebiere, 1998) beschreibt. Gemäß dieser ist Wissen entweder in deklarativer Form vorhanden, wobei die deklarativen Wissensbestände in semantischen Netzwerken organisiert sind, oder prozedural als Produktionsregeln, mit denen Handlungen und deren Anwendungsbedingungen spezifiziert werden. Die Ergebnisse einer Studie (Lovett, 2001), bei der dieses Modell im Rahmen einer Statistik-Lernumgebung implementiert wurde, unterstreichen dessen instruktionale Nützlichkeit.

Zur empirischen Untermauerung seines Ansatzes verweist Broers (2002) auf eine faktorenanalytische Untersuchung von Huberty, Dresden und Byung-Gee (1993), die Belege für drei Grunddimensionen statistischen Wissens liefert: Rechenfähigkeit (computational aptitude oder prozedurales Wissen), Kenntnis isolierter Konzepte, Prinzipien und Fakten (propositionales Wissen) und

konzeptuelles Verstehen, mit dem eine Integration propositionalen Wissens in vorhandene Wissensbestände gemeint ist.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass es auch andere Ansätze zur Konzeptualisierung von Wissen gibt. So weichen insbesondere situierte Auffassungen radikal von den in der kognitiven Psychologie vorherrschenden Modellvorstellungen ab (vgl. Greeno, Collins & Resnick, 1996). In der vorliegenden Arbeit wird zwar im Zusammenhang mit der Konzeption der vorgestellten Lernumgebung auf situierte Designprinzipien zurückgegriffen, die sich in der Praxis als nützlich erwiesen haben, für die theoretische Fundierung dieser und anderer Techniken soll aber von kognitiv-repräsentationalistischen Modellen Gebrauch gemacht werden. Dies ist insbesondere auf zwei Gründe zurückzuführen: Erstens eignen sich Repräsentationskonstrukte eher, um brauchbare Indikatoren für Operationalisierungen, z. B. im Rahmen von Wissenstests, abzuleiten (vgl. z. B. Stark, 2001). Zweitens fristen situierte Ansätze innerhalb der Grundlagenforschung zum Statistiklernen ein eher randständiges Dasein. Konkrete, auf den Bereich des Statistiklernens bezogene Modelle und Befunde aus situierter Forschungsperspektive gibt es nach Kenntnis des Verfassers überhaupt nicht.

Die Rolle des Vorwissens

Die allgemein große Bedeutung des Vorwissens beim Erwerb neuer Kenntnisse darf als gesichert gelten (siehe z. B. Dochy, 1992; Renkl, 1996a; Schnotz, 1994, speziell für den Bereich Statistik siehe z. B. Garfield, 1995; Krause & Stark, im Druck; Schutz et al., 1998). Insbesondere wurde beobachtet, dass Vorwissen nicht nur förderliche Effekte beim Wissenserwerb nach sich zieht, sondern auch die Aneignung neuen Wissens erschweren kann. Dieser Umstand ist nicht zuletzt darauf zurückzuführen, dass Lernende in Bezug auf bestimmte Termini der Statistik, wie *Zufall*, *repräsentativ*, *Wahrscheinlichkeit* usw. bereits über einen Bestand an Konzepten, Prinzipien und Überzeugungen verfügen, die sich zwar für den Alltagsgebrauch als heuristisch nützlich erweisen, im Rahmen statistischer

Urteilsbildung aber als inkorrekt oder unpräzise zu betrachten sind und somit mit erfolgreichem Lernen interferieren.

Die Erforschung solcher sogenannten *Fehlkonzepte (misconceptions)* und *Trugschlüsse (fallacies)* hat eine lange Tradition innerhalb der kognitiven Psychologie. So konnten z. B. Kahneman & Tversky (1973) u. a. zeigen, dass Personen unter bestimmten Umständen Wahrscheinlichkeitsangaben ignorieren, indem sie von einer „Repräsentativitäts-Heuristik“ Gebrauch machen: Versuchspersonen, denen eine Personalbeschreibung aus einem Pool von 30 Prozent Juristen und 70 Prozent Ingenieuren vorgelegt wurde, beurteilten die Zugehörigkeit der beschriebenen Person zu einer der beiden Berufsgruppen anhand dieser Beschreibung fälschlicherweise als gleichwahrscheinlich, obwohl der Text keinerlei Hinweis auf den Beruf dieser Person enthielt:

„Dick ist 30 Jahre alt. Er ist verheiratet und hat keine Kinder. Ein Mann mit großen Fähigkeiten und hoher Motivation, der in seinem Gebiet große Erfolgsaussichten hat. Bei seinen Kollegen ist er sehr beliebt.“ (S. 242, Kahneman & Tversky, 1973)

Die Versuchspersonen ignorierten die ihnen mitgeteilte Wahrscheinlichkeitsangabe (von 30 bzw. 70 Prozent) und verwendeten stattdessen gemäß Kahneman und Tversky (1973) eine Repräsentativitäts-Heuristik, nach der die Beschreibung von Dick gleichermaßen repräsentativ für einen Ingenieur wie für einen Juristen ist. Demzufolge schätzten sie die gesuchte Wahrscheinlichkeit irrtümlich mit 50 Prozent ein. Neben der *representativeness heuristics* dokumentierten Kahneman, Slovic & Tversky (1982) andere Irrtümer wie die *gamblers fallacy*, die *base-rate fallacy*, *availability* und die *conjunction fallacy*. Über Fehlkonzepte im Umgang mit dem Wahrscheinlichkeitsbegriff berichten u. a. auch Fishbein (1975) und Shaughnessy (1977). Darüber hinaus liegt mittlerweile eine Reihe von Befunden vor, die Fehlkonzepte in Bezug auf *Korrelation und Kausalität* (ebenfalls Kahneman, Slovic & Tversky, 1982) hinsichtlich des Begriffs der *bedingten Wahrscheinlichkeit* (z. B. Falk, 1988; Pollatsek, Well, Konold & Hardiman, 1987), *Unabhängigkeit* (z. B. Konold, 1989), „Randomness“ (z. B. Falk, 1981;

Konold, 1991) dem *Gesetz der großen Zahlen* (z. B. Well, Pollatsek & Boyce, 1990) u. a. identifizieren konnten.

Während in früheren Arbeiten zu Fehlkonzepten (insbesondere innerhalb der kognitiven Psychologie, die sich am Ideal wissenschaftlich-logischer Urteilsbildung orientiert) deren defizitärer Charakter im Vordergrund stand, betonen neuere Ansätze (z. B. Smith, di Sessa & Roschelle, 1993, die eine konstruktivistische Perspektive einnehmen) deren Nützlichkeit bzw. Sinnhaftigkeit und den Aspekt der Ressourcenorientierung (Stark, 2001). Für den Bereich der deskriptiven Statistik folgert z. B. Mevarech (1983), die bei einer Stichprobe von College-Studenten systematische Fehler beim Rechnen mit (gewichteten) Mittelwerten beobachten konnte, dass „ein Fehlkonzept keine sinnlose Veränderung einer mathematischen Operation ist, sondern eine semantisch sinnvolle Abweichung von einer korrekten Prozedur [darstellt]“ (S. 426).

Die Kehrseite der Nützlichkeit von Fehlkonzepten ist aber deren häufig zu beobachtende Resistenz gegenüber Versuchen, diese zu ändern bzw. durch wissenschaftlich korrekte Konzepte zu ersetzen. So berichten z. B. Songer und Mintzes (1994) über eine Untersuchung mit Biologiestudenten, die nach anfänglich erfolgreichem Training bald wieder auf frühere Fehlkonzepte zurückfielen. Songer und Mintzes folgerten, dass es den Studenten nicht gelang, die neu erworbenen wissenschaftlich korrekten Propositionen in bestehende Wissensschemata zu integrieren. Neues und altes Wissen stehen so unverbunden nebeneinander, es kommt zu einer *Kompartimentalisierung* von Wissen (vgl. Mandl, Gruber & Renkl, 1993; Mandl, Gruber & Renkl, 1994). In derselben Richtung argumentiert z. B. Stark (2001), der mit Hinweis auf entsprechende Befunde von Mandl et al. (1993) resümiert:

„Ähnlich wie im Bereich Physik scheint es auch auf dem Gebiet der empirischen Forschungsmethoden und insbesondere bei Problemstellungen der Statistik zu ausgeprägten *Kompartimentalisierungen* zu kommen.“ (Stark, 2001, S. 309)

Mangelnde Integration von Wissen ist nach Garfield & Ahlgren (1988) die Ursache dafür, dass, „... [viele Studenten] ... zwar in der Lage sind im Zusammenhang mit bekannten, wohldefinierten Problemstellungen Formeln und die zu befolgenden Schritte zu erinnern, aber nur selten viel von dem zugrundeliegenden Rationale verstehen oder Konzepte in neuen Situationen anwenden können“ (S. 46). Ähnliche Beobachtungen machen z. B. Birkhan und Schulmeister (1983), Schulmeister und Birkhan (1983) oder Kettler (1998), die u. a. feststellen, dass Studierende dazu neigen, sich solchen Aufgaben zuzuwenden, die Berechnungen und Algorithmen notwendig machen, in denen das Verstehen von Formeln nicht vorausgesetzt wird, sondern nur deren operativer Gebrauch.

Kommt es andererseits doch zu einer Integration von Wissen, dann derart, dass neue Konzepte um den Preis ihrer Korrektheit an bestehende Schemata assimiliert werden. Zu dieser Schlussfolgerung gelangt z. B. Mevarech (1983), die zeigen konnte, dass ihre Versuchspersonen die ihnen aus dem Schulunterricht wohlbekannten Eigenschaften physikalischer Maße irrtümlich auf statistische Maße übertrugen (vgl. Lovett & Greenhouse, 2000).

Kontextgebundenheit des Wissens

Ein häufig dokumentierter und zitierter Befund der Lehr-Lern-Forschung ist das sogenannte „Transferproblem“ bzw. das „Problem des trägen Wissens“ (z. B. Elio & Anderson, 1984; Mandl et al., 1994; Paas & Van Merriënboer, 1994; Ranzijn, 1991; Reed, Dempster & Ettinger, 1985). So stellt Stark (2001) fest:

„Selbst bei nur oberflächlich voneinander abweichenden Problemkontexten können Konzepte und Prinzipien, die etwa im Kontext einer Studie zum Einfluss verschiedener Lernmethoden auf motivationale Aspekte eingeführt wurden, oft nicht auf andere Kontexte übertragen werden, etwa auf eine Studie zum Einfluss des Geschlechts auf den Lernerfolg. Dieses Transferproblem kann im Kontext der Methodenausbildung für Pädagogen regelmäßig bei sog. Nachholklausuren identifiziert werden, bei denen zum Teil Aufgaben aus der regulären Methodenklausur übernommen und lediglich neue kontextuelle Einbettungen verwendet werden.“ (S. 303)

Aus der Sicht der kognitiven Psychologie ist das Problem des Transfers vor allem darauf zurückzuführen, dass Wissen tendenziell an den Kontext gebunden bleibt, in dem es gelernt wurde. Lovett und Greenhouse (2000), die eine kognitivistische Perspektive einnehmen, erläutern dies mit Bezug auf den Netzwerkcharakter von Wissensrepräsentationen:

„Wenn z. B. eine deklarative Tatsache im Kontext eines bestimmten Lernziels abgerufen wird, wird nicht nur diese Tatsache verstärkt, sondern auch die Verbindungen zwischen dieser Tatsache und anderen Tatsachen, die das gegenwärtige Ziel beschreiben. Durch diese Verstärkung von Verbindungen wird es leichter, erstgenannte Tatsache unter ähnlichen zukünftigen Zielen abzurufen... Aus alledem folgt, dass Wissen in Kontexten, die dem Lernkontext ähneln, leichter abgerufen werden kann.“ (S. 4)

Im Gegensatz zur Problematik der Fehlkonzepte, für die es, vereinfachend formuliert, charakteristisch ist, dass Verbindungen zwischen neuen Konzepten und Vorwissensbeständen fehlen bzw. nicht hergestellt werden, ist es bei Lovett und Greenhouse (2000) gerade die selektive Verstärkung von Verbindungen zwischen Wissenseinheiten, auf die das Transferproblem zurückgeführt wird.

Diese Art der Erklärung des Transferproblems stellt eine Variante eines Erklärungsstyps dar, der sich mit Renkl (1996b) als *Strukturdefiziterklärung* bezeichnen lässt. Strukturdefiziterklärungen sehen die Defizite im anzuwendenden Wissen selbst angesiedelt, wohingegen sogenannte *Metaprozesserklärungen* davon ausgehen, dass das notwendige Wissen vorhanden ist, aber nicht genutzt wird. Daneben gibt es nach Renkl (1996b) noch *Situiertheitserklärungen*, die den traditionellen Wissens- und Transferbegriff radikal in Frage stellen (für eine ausführliche Diskussion der verschiedenen Erklärungsansätze siehe auch Stark, 2001). Dieser Erklärungstyp soll aus den oben erwähnten Gründen im Rahmen dieser Arbeit aber nicht weiter beachtet werden. Metaprozesserklärungen beziehen nach Renkl (1996b) neben metakognitiven Aspekten auch motivationale Aspekte des Lernens ein. Auf diese wird getrennt in den beiden nachfolgenden Kapiteln, *Motivationale Aspekte des*

Statistiklernens (2.1.2) und *Metakognitive Aspekte des Statistiklernens* (2.1.3) eingegangen.

Kognitive Belastung

Eine besondere Bedeutung für das Verständnis von Lernprozessen kommt der Tatsache zu, dass die menschlichen kognitiven Ressourcen zur Aufnahme und Verarbeitung neuer Information begrenzt sind. Dies ist das Thema der Theorie von der kognitiven Belastung (Cognitive Load Theory, z. B. Chandler & Sweller, 1991; Sweller, 1988; Sweller, 1994). In deren Mittelpunkt steht die Annahme begrenzter, aber flexibel allozierbarer kognitiver Kapazität auf Seiten des menschlichen kognitiven Systems (vgl. z. B. Baddeley, 1999). Je mehr dieser Kapazität nun für lernförderliche Aktivitäten („germane load“) und weniger für unnötigen Verstehensaufwand („extraneous load“) zur Verfügung stehen, umso größer ist der Wissenserwerb. Diese Annahme konnte vielfach empirisch bestätigt werden (siehe dazu z. B. Brünken & Leutner, 2000). Neben „germane load“ und „extraneous load“ postuliert die Theorie eine dritte Belastungskomponente, die allein auf die intrinsische Natur („intrinsic load“) der zu erlernenden Inhalte (Schwierigkeit und Komplexität der Aufgabe) zurückzuführen ist und somit in Abhängigkeit vom Vorwissen variiert.

Eine Besonderheit der Theorie von der kognitiven Belastung besteht darin, dass mit ihr ein empirisch vielfach evaluiertes Rahmenmodell zur Verfügung steht, das eine fundierte Grundlage für Designentscheidungen liefert. Im nachfolgenden Absatz (und ausführlich im nächsten Kapitel) werden verschiedene Designprinzipien vorgestellt, die sich aus diesem Modell ableiten lassen.

Instruktionale Konsequenzen

Ein grundsätzliches Problem bei der Anwendung der oben vorgestellten Theorien und Konzepte auf die instruktionale Praxis besteht darin, dass kognitive Psychologie einerseits und instruktionale Psychologie andererseits nur wenig voneinander Notiz nehmen und es kaum zu integrativen Forschungsbemühungen

kommt. Dies gilt auch und in besonderem Maße für den Bereich des Statistik-Lehrens und -Lernens. Glücklicherweise mehren sich in jüngerer Zeit Arbeiten, in denen Ergebnisse und Modelle *beider* Forschungstraditionen aufeinander bezogen werden (vgl. Lovett, 2000).

So fordern z. B. Cumming & Thomason (1998) neue statistische Konzepte im Unterricht aus multiplen Perspektiven einzuführen, um der Bildung von Fehlkonzepten entgegenzuwirken. Auf das instruktionale Mittel der „multiplen Perspektiven“, das sich für eine Reihe von Wissensdomänen bewährt hat, wird für gewöhnlich im Zusammenhang mit dem Transferproblem verwiesen (z. B. Paas & Van Merriënboer, 1994; Stark, Graf, Renkl, Gruber & Mandl, 1995). Für Lovett (2000) empfiehlt sich der Einsatz multipler Perspektiven jedoch gewissermaßen direkt als Konsequenz aus dem Prinzip der Kontextgebundenheit des Wissens und seiner repräsentationalen Struktur. In der Praxis lässt sich die Problematik der Fehlkonzepte und das Prinzip der Kontextgebundenheit freilich schwer voneinander unterscheiden. Beide Aspekte können miteinander in kausale Wechselwirkung treten und beide beeinflussen sie die Transferleistung negativ.

Neben multiplen Perspektiven wird von einer Reihe von Autoren empfohlen, statistische Fehlkonzepte möglichst früh im Lernprozess zu identifizieren und Feedback-Korrekturen anzuwenden. Für Garfield (1995), der in einem vielbeachteten Aufsatz Ergebnisse der psychologisch-kognitiven Forschung *und* der instruktionalen Forschung im Bereich des Statistik, Mathematik und Physik berücksichtigt, stellt es ein „Prinzip des Statistikkernens“ (S.32) dar, den Lernprozess mit Feedbackmaßnahmen zu unterstützen. Dies sieht auch Lovett (2000) so, die als „Leitlinie“ vorschlägt, „...die ‚Schlaufe‘ zwischen dem Denken der Studenten und dem Feedback des Lehrers so eng als möglich zu ziehen“ (S. 5). Allerdings ist die Befundlage zur Feedbackwirkung durchaus uneinheitlich. Zwar weisen zahlreiche Autoren auf positive Effekte hin: Durch Feedback lässt sich die Lernleistung verbessern (vgl. z. B. Bangert-Drowns, Kulik, Kulik & Morgan, 1991; Jacobs, 2002; Krause & Stark, 2004; Mory, 1996) und, sofern die Rückmeldung in einer informativen, nicht-kontrollierenden Art und Weise gegeben wird, die intrinsische Motivation erhöhen (z. B. Deci, Koestner & Ryan,

2001; Harackiewicz & Larson, 1986; Sansone, 1986). Allerdings zeigen sich nicht nur positive Auswirkungen von Feedback auf die Lernleistung, sondern teilweise keine oder sogar negative Effekte (vgl. Jacobs, 2002; Kluger & DeNisi, 1996). Hierfür gibt es verschiedene Erklärungsansätze (z. B. Jacobs, 2002; Kluger & DeNisi, 1996). Eine zentrale Rolle spielen die Gestaltung des Feedbacks sowie die Feedbackrezeption durch den Empfänger. Forschungsergebnisse weisen auf eine höhere Lernwirksamkeit von elaboriertem Feedback gegenüber anderen Feedbackformen hin, insbesondere bei komplexen Aufgaben (Bangert-Drowns et al., 1991; Collins, Carnine & Gersten, 1987; Gilman, 1969; Krause & Stark, 2004; Narciss, 2001; Pridemore & Klein, 1991).

Elaboriertes Feedback kann im ungünstigen Fall jedoch auch mit kognitiver Überlastung einhergehen und somit erfolgreiches Lernen erschweren, worauf z. B. Stark (2001) hinweist. Dies gilt prinzipiell jedoch für alle Maßnahmen, mit denen eine Lernumgebung instruktional angereichert werden kann. Bestimmte instruktionale Ansätze und Formate erweisen sich allerdings unter dem Gesichtspunkt der kognitiven Belastung bzw. Überlastung gegenüber anderen als überlegen. So haben zahlreiche Untersuchungen gezeigt, dass ausgearbeitete Lösungsbeispiele die kognitiven Ressourcen vorwissensschwacher Lerner weniger stark beanspruchen als Problemlöseaufgaben (z. B. Paas & Van Merriënboër, 1994; Sweller, 1988; Sweller, Chandler, Tierney & Cooper, 1990; Sweller & Cooper, 1985; Ward & Sweller, 1990). Dadurch sollen sowohl Schemaerwerb als auch die Automatisierung von Regeln gefördert werden, was wiederum erfolgreiche Wissensanwendung und Transfer ermöglicht (Sweller, Van Merriënboër & Paas, 1998).

Bei fortgeschrittenen Lernern können ausgearbeitete Lösungsbeispiele allerdings zu gegenteiligen Effekten führen. Dieses Phänomen lässt sich mit Bezug auf den von der Theorie der kognitiven Belastung postulierten *Wiederholungseffekt (redundancy effect)* erklären, der impliziert, auf redundante Informationsdarbietung zu verzichten. Weitere Effekte, die von der Theorie spezifiziert werden, sind der Effekt der Zielfreiheit („goal free effect“), der Effekt der geteilten Aufmerksamkeit („split attention effect“) und der Modalitätseffekt

(„modality effect“). Das Lernen mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen, das den instruktionalen Kern der hier vorgestellten Lernumgebung darstellt, wird in Kapitel 2.2.2 ausführlicher dargestellt.

Schlussfolgernd lässt sich festhalten, dass sich die Modelle und Befunde der am repräsentationalistischen Paradigma orientierten kognitiven Forschung und die Befunde und Ansätze der Lehr-Lern-Forschung sinnvoll aufeinander beziehen lassen. Instruktionale Ansätze und Techniken, wie multiple Perspektiven, Feedback und das Lernen mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen, die im Rahmen einer pädagogisch-instruktionalen Forschungsperspektive untersucht wurden, lassen sich sinnvoll auf kognitiv-repräsentationalistische und insbesondere schematheoretische Modelle beziehen und daraus ableiten.

2.1.2 Motivationale Aspekte des Statistik-Lernens

Ausgehend von den Ergebnissen der motivationspsychologischen Forschung sollen zunächst einige zentrale Motivationskonstrukte kurz umrissen werden: „Intrinsische und extrinsische Lernmotivation“, „Interesse“ und „Selbstwirksamkeit/Selbstkonzept“. Für eine ausführliche Darstellung dieser Begriffe und zugehöriger Befunde wird auf Stark (1999, Kapitel 7) verwiesen. Anschließend werden empirische Ergebnisse zur Bedeutung motivationaler Aspekte beim Lernen beschrieben. Da in der pädagogischen Forschung kognitive Ansätze dominieren und insbesondere für das Statistik-Lernen von einer schmalen Befundlage auszugehen ist, muss vor allem auf Befunde zu anderen Domänen zurückgegriffen werden.

Theoretische Vorüberlegungen und Begriffsklärungen

Intrinsische und extrinsische Motivation

Intrinsische Motivation liegt vor, wenn die Gründe für die Durchführung einer Handlung im Bereich der Handlung selbst liegen. Die Handlung wird also um ihrer selbst willen ausgeführt und nicht, weil ihr bestimmte wünschenswerte Konsequenzen folgen. Dabei lässt sich eine tätigkeitszentrierte Form und eine

gegenstandsbezogene Form der intrinsischen Motivation unterscheiden. Im ersten Fall sind es Eigenschaften der Handlung, die zu ihrer Durchführung motivieren – eine bestimmte Aktivität wird gern ausgeführt – und im zweiten Fall sind es Eigenschaften des Gegenstands, auf den die Handlung bezogen ist – die handelnde Person ist am Gegenstand interessiert (Schiefele, 1996). Eine prominente Theorie zur intrinsischen Motivation bzw. zur Abgrenzung intrinsischer und extrinsischer Motivation ist die Selbstbestimmungstheorie von Deci (1975) und Deci und Ryan (1991). Danach ist intrinsisch motiviertes Lernen nur möglich, wenn bestimmte psychologische Bedürfnisse, nämlich das Bedürfnis nach Kompetenz und Wirksamkeit und das Bedürfnis nach Autonomie und Selbstbestimmung erfüllt sind: Die lernende Person erlebt sich als kompetent und selbstbestimmt in der Ausführung ihrer Lernhandlungen.

Das Konzept der extrinsischen Motivation dient oft als Sammelbezeichnung für solche Motivationsformen, die nicht unter den Begriff der intrinsischen Motivation fallen. Nach Schiefele (1996) liegt einer extrinsisch motivierten Handlung der Wunsch oder die Absicht zu Grunde, durch die Durchführung der Handlung positive Folgen herbeizuführen oder negative Folgen zu vermeiden. Dabei liegen diese Folgen außerhalb der (Lern-)Handlung und stehen mit dieser in keiner unmittelbaren Beziehung. Trotz dieser scheinbar eindeutigen definitorischen Abgrenzung wirft die Unterscheidung von extrinsischer und intrinsischer Motivation in einigen Fällen Schwierigkeiten auf. So z. B. bei Handlungen, die an sich „keine Attraktivität für den Handelnden besitzen“, die aber „Glieder einer Kette sind, an deren Ende eine intrinsisch motivierte Aktivität steht“ (Schiefele & Köller, 2001, S.305). Ein weiteres Abgrenzungsproblem ergibt sich daraus, dass insbesondere Lernhandlungen oft durch eine Mischung aus beiden Motivationsformen gekennzeichnet sind: „Lernen [...] ist vermutlich immer bis zu einem Grad extrinsisch motiviert.“ (Schiefele & Köller, 2001, S.305). Deci und Ryan (1991) entwerfen anstelle einer dichotomen Begrifflichkeit ein Konzept, das von einem abgestuften Kontinuum eindeutig autonomer (intrinsischer) und eindeutig fremdbestimmter (extrinsischer) Handlungsregulation ausgeht.

Interesse

Während intrinsische Motivationsformen meist mit Bezug auf den Aspekt der Tätigkeitszentrierung charakterisiert werden, ist für Interesse die Gegenstandszentrierung konstitutiv. Moderne Interessetheorien basieren auf einer Person-Gegenstands-Konzeption, Interesse ist demnach ein Konstrukt (vgl. Krapp & Prenzel, 1992; Renninger, Hidi & Krapp, 1992), das im Unterschied zu anderen Motivationskonstrukten nicht gegenstandsunspezifisch bestimmt werden kann. Nach Krapp (1992) ordnen Lernende Interessegegenständen eine hohe subjektive Bedeutung bei, sie besitzen für sie eine hohe wertbezogenen Valenz, aber auch die mit dem Interesse im Zusammenhang stehenden Handlungen sind für Lernende mit positiven Gefühlen verbunden, sie haben eine hohe gefühlsbezogene Valenz (nach Pekrun, 1988). Die intrinsische Komponente von Handlungen, die interessegeleitet durchgeführt werden, beruht darauf, „dass sich die Person mit den Interessengegenständen und den damit verbundenen Möglichkeiten der Auseinandersetzung identifiziert“ (Krapp, 2001, S. 286).

Interesse bzw. intrinsische und extrinsische Motivation lassen sich im Rahmen des kognitiven Erwartungs-x-Wert-Paradigmas der motivationalen Wertkomponente zuordnen, während Selbstkonzept und Selbstwirksamkeitserwartungen, auf die im Folgenden eingegangen wird, motivationswirksame Erwartungstypen darstellen.

Selbstkonzept/Selbstwirksamkeitserwartungen

Als Selbstkonzept können selbstbezogene Wissensbestände und Überzeugungen verstanden werden, also kognitive Repräsentationen der eigenen Person. Diese werden zumeist hierarchisch aufeinander bezogen konzeptualisiert (vgl. Stark, 1999). Auf der obersten Ebene stehen allgemeine Fähigkeitsselbstkonzepte, dem fach- oder themenspezifische Selbstkonzepte untergeordnet sind, wie z. B. mathematik- oder statistikspezifische Selbstkonzepte, die sich wiederum in teilleistungsbezogene Konzepte aufgliedern lassen (Shavelson, Hubner & Stanton, 1976). Dem Begriff des Selbstkonzepts eng verwandt ist das Konzept der

Selbstwirksamkeitserwartung (self-efficacy), das auf Bandura (1986) zurückgeht und ursprünglich zur Erklärung individueller Unterschiede bei der Bewältigung von Stress entwickelt wurde. Bandura definiert Selbstwirksamkeitserwartungen als Einschätzungen der Fähigkeit, Handlungsverläufe, die erforderlich sind um bestimmte Typen von Leistungen zu erzielen, zu organisieren und auszuführen (vgl. Bandura, 1986, S. 391). Es besteht innerhalb der Motivationsforschung allerdings eine gewisse Uneinigkeit darüber, ob Selbstwirksamkeitserwartungen dispositional oder eher situationsspezifisch zu konzeptualisieren sind. So verstehen z. B. Pintrich et al. (1993) Selbstwirksamkeitserwartungen als aktuelle, situationsabhängige Kognitionen und grenzen diese so vom Begriff des Selbstkonzepts ab, das als dispositionales Merkmal von Personen aufgefasst wird. Dies entspricht einem Trend, den Stark (1999) für die neuere Lern- und Wissenspsychologie feststellt, demzufolge Phänomene des Lehrens und Lernens verstärkt gegenstandsspezifisch untersucht und theoretisch rekonstruiert werden.

Motivation und Lernen

Im Folgenden wird der Frage nachgegangen, inwieweit die oben dargestellten Aspekte von Motivation Einfluss auf das Lernen nehmen und durch welche Mechanismen dieser Einfluss ausgeübt wird.

Interesse, intrinsische und extrinsische Motivation und Lernen

Verglichen mit anderen Motivationsformen bzw. -aspekten kommt dem Interesse eine relativ hohe Relevanz für das Lernen zu. Dies konnte sowohl auf der Makro- (Zusammenhang mit Schulleistungen) als auch auf der Mikroebene (z. B. Zusammenhang mit Behaltensleistungen beim Lernen mit Texten) empirisch untermauert werden (vgl. Stark, 1999). So haben z. B. Schiefele, Krapp und Schreyer (1993) in einer Metaanalyse zum Zusammenhang von thematischem Interesse und Indikatoren des Schul- und Studienerfolgs über alle Fächer und Schulstufen hinweg eine mittlere Korrelation von $r = .3$ errechnet. Dabei erwies sich das Schulfach als bedeutsamer Moderator: Relativ hohe Korrelationen ergaben sich für Mathematik, Naturwissenschaften und Fremdsprachen. In

anderen Studien zeigten sich Zusammenhänge zwischen Interesse und Mikroindikatoren wie Beantworten von Verstehensfragen, Wiedergabe der Hauptgedanken und Kohärenz der Wiedergabe (Schiefele, 1996). Auch zwischen intrinsischer Motivation und Lernleistung wurden mehrfach positive Zusammenhänge gefunden. Nach Wild, Hofer und Pekrun (2001) ist einer Metaanalyse von Schiefele und Schreyer (1994) „zu entnehmen, dass vor allem die intrinsische Lernmotivation konsistent positiv mit Schul- und Studienleistungen (durchschnittlich zu $r = .23$) korreliert“ (S. 225). Darüber hinaus konnten Schiefele, Winteler und Krapp (1988) zeigen, dass intrinsische Motivation und Interesse nicht nur der Lernleistung, sondern auch der Qualität der generierten Wissensstruktur zugute kommt – ein Befund, der auch durch die Ergebnisse weiterer Studien bestätigt werden konnte. Schiefele und Heinen (2001) verweisen in diesem Zusammenhang auf Untersuchungen, die Belege dafür liefern, dass Interesse vor allem die propositionale Wissensrepräsentation fördert, während eine deutlich negative Korrelation zur Stärke der wörtlichen Repräsentation besteht.

Für den Bereich des Statistiklernens liegen zwar Untersuchungen vor, welche motivationale Lernvoraussetzungen von Studenten und Schülern in Bezug auf statistische Inhalte dokumentieren und dabei zumeist eine ausgesprochen ungünstige Motivationslage konstatieren (z. B. Abel, 1999; Stark, 2001; Webel, 1983). Deren Einfluss auf den Lernprozess bzw. den Lernerfolg wurde aber wenig untersucht. Eine Ausnahme bilden z. B. die im Feld und Labor durchgeführten Untersuchungen von Stark (Stark, 2001; Stark & Mandl, 2001; Stark, Bürg & Mandl, 2002), in denen sich neben dem Einfluss des Vorwissens Interesse und intrinsische Motivation als die stärksten Prädiktoren des Lernerfolgs erwiesen.

Als mediierende Variablen für die positive Beziehung zwischen Interesse bzw. intrinsischer Motivation und Lernleistung wurden in jüngerer Zeit vor allem Lernstrategien intensiv empirisch untersucht (vgl. Schiefele und Heinen, 2001). Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass intrinsische Lernmotivation und Interesse eher mit dem Einsatz tiefergehender Lernstrategien (z. B. Elaboration)

einhergeht, während das Ausmaß extrinsischer Motivation mit einer Präferenz für oberflächliche Lernstrategien (z. B. Wiederholung) assoziiert ist.

Selbstkonzept, Selbstwirksamkeit und Lernen

In verschiedenen Metaanalysen (z. B. Hansford & Hattie, 1982) konnte nachgewiesen werden, dass zwischen verschiedenen Operationalisierungen des Selbstkonzept-Konstrukts und der Lernleistung schwache, aber positive Zusammenhänge bestehen (vgl. auch Wild et al., 2001). Themenspezifische Selbstkonzepte, wie das mathematikspezifische Selbstkonzept, korrelieren dabei höher mit Lernleistungen als allgemeine Selbstkonzepte wie z. B. das Selbstkonzept im Hinblick auf Schulleistungen im Allgemeinen. In Bezug auf Selbstwirksamkeitserwartungen resümiert Stark (1999), dass für „verschiedene Domänen gezeigt werden [konnte], dass die Veränderung von Selbstwirksamkeitserwartungen zu besserer Nutzung kognitiver Strategien und besseren Leistungen führen kann“ (vgl. auch Schunk, 1991). Für den Bereich des Statistiklernens liegen wiederum nur wenige Studien vor, die einen Einfluss verschiedener motivationswirksamer Erwartungen auf die Lernleistung nachweisen konnten (z. B. Schutz, Drogosz, White & Distefano, 1998). Stark und Mandl (2002) fanden in einer experimentellen Untersuchung Belege dafür, wie verschiedene instruktionale Maßnahmen im Rahmen einer Statistik-Lernumgebung in Abhängigkeit vom Selbstkonzept im Hinblick auf Leistungen im Bereich der Statistik wirksam werden: Lernende mit eher positivem Selbstkonzept und schwach ausgeprägter Methodenangst lieferten – insbesondere in der instruktional am meisten angereicherten Lernbedingung – die besten Lernergebnisse.

Motivation als Bedingung und Konsequenz des Lernens

Der Einfluss, den motivationale Aspekte auf Lernprozess und Lernerfolg nehmen, verläuft nicht auf einer Einbahnstraße. Bestimmte Lernerfahrungen wirken auf die Motivation Lernender zurück, die ihrerseits wiederum auf die Lern- und Leistungsentwicklung Einfluss nimmt. Motivationsvariablen können daher den

Status einer unabhängigen, aber auch einer abhängigen Variable besitzen. So lassen sich z. B. Selbstkonzeptvariablen entsprechend dem „skill development“-Ansatz (Scheirer & Kraut, 1979) als Bedingungen von Lernprozessen und Lernerfolg und damit als unabhängige Variablen auffassen. Umgekehrt ist jedoch davon auszugehen, dass die Erfahrung von Erfolg oder Misserfolg – entsprechend dem *self-enhancement*-Ansatz – das Selbstkonzept verändern kann (vgl. Stark, 1999). In diesem Fall stellt das Selbstkonzept eine abhängige Variable dar. Aus instruktionspsychologischer Sicht ist jedoch vor allem von Bedeutung, dass bestimmte instruktionale Maßnahmen bzw. Lernerfahrungen, die in deren Kontext gemacht werden, auch negativ auf die Motivationslage von Lernenden zurückwirken können (siehe z. B. Weinert, Schrader & Helmke, 1989). Dass sich unter solchen Umständen in einigen Fällen dennoch positive *kognitive* Effekte nachweisen lassen, zeigt z. B. eine Untersuchung von Stark, Gruber, Renkl und Mandl (1998) zum Lernen mit einem computerbasierten Unternehmensplanspiel, mit dem zwar verschiedene Aspekte des Lernerfolgs (z. B. Erwerb von Sachwissen, Prognoseleistung) gefördert werden konnten, gleichzeitig aber ungünstige Akzeptanzeffekte (Akzeptanz der Lernumgebung als Bestandteil der motivationalen Wertkomponente) auftraten. Denkbar ist in diesem Zusammenhang auch, dass eine Lernumgebung günstige Effekte im Hinblick auf Aspekte der motivationalen Wertkomponente zeigt (z. B. das Interesse der Lernenden weckt), aber ungünstige Effekte im Hinblick auf motivationswirksame Erwartungen, wie Selbstwirksamkeitserwartungen oder den subjektiven Lernerfolg (z. B. dadurch, dass sich Lernende überfordert fühlen). Auf längere Sicht ist der Einsatz einer Lernumgebung, die negative Motivationseffekte nach sich zieht, nicht zu empfehlen, denn, so resümiert Stark (1999), es ist damit zu rechnen, „dass negative Motivationseffekte auf den Lernprozess und den Lernerfolg zurückwirken, so dass es längerfristig auch zu ungünstigen kognitiven Effekten kommen kann.“ (S.72).

2.1.3 Metakognitive Aspekte des Statistik-Lernens

Im folgenden Kapitel werden zunächst einige grundlegende Konzepte und Konstrukte der Metakognitionsforschung beschrieben. Danach werden ausgewählte zentrale Befunde zum Zusammenhang von Metakognition und Lernerfolg bzw. Lernprozess vorgestellt. Abschließend werden instruktionale Maßnahmen zur Förderung metakognitiver Kompetenz beschrieben und diskutiert. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf solchen instruktionalen Mitteln, die sich in einer computerbasierten Selbstlernumgebung implementieren lassen. Da für den Bereich des Statistiklernens nur wenige Untersuchungen zum Einfluss bzw. zur Beeinflussbarkeit metakognitiver Variablen vorliegen, muss wiederum auf Befunde aus anderen Domänen zurückgegriffen werden.

Theoretische Vorüberlegungen und Begriffsklärungen

Das Metakognitionskonstrukt ist zweifelsohne problematisch. Obwohl in den letzten 20 Jahren einiges zur Klärung und Ausdifferenzierung dieses Begriffs geleistet wurde – Brown sprach 1987 noch von *Metakognition* als einem vielköpfigen Monstrum mit ungeklärter Elternschaft (S.99) – konstatiert z. B. Hasselhorn (1998) „vielfache Klagen über die Heterogenität des Konzeptes“ (S.348).

So wird bis heute diskutiert, inwieweit sich Metakognitionen von Kognitionen unterscheiden (vgl. Chambres, Izaute & Marescaux, 2002, Section II; Kluwe, 1981). Insbesondere bereitet die Abgrenzung metakognitiver von kognitiven Lern- und Gedächtnisstrategien Schwierigkeiten (vgl. Paris & Winograd, 1990). Aus der Perspektive einer kognitiv-repräsentationalistischen Psychologie besteht jedoch grundsätzlich Einigkeit darüber, dass sich Metakognitionen ebenso wie Kognitionen mit den Mitteln einer repräsentationalistischen Begrifflichkeit abbilden lassen. Uneinigkeit besteht in diesem Rahmen „lediglich“ über die genaue Struktur dieser Abbildungen, so z. B. über die Frage, inwieweit deklarativ-metakognitive Wissensbestände prozedurale Elemente enthalten (vgl. z. B. Chi, 1984). Vor dem Hintergrund dieser grundsätzlichen strukturellen Ähnlichkeit haben einige Autoren Argumente

vorgelegt, welche die Sinnhaftigkeit der Unterscheidung von Metakognitionen und Kognitionen in Frage stellen (vgl. z. B. Kluwe, 1981). Bereits Flavell (1979) nahm an, dass sich „metakognitives Wissen und metakognitive Empfindungen von anderen Arten nur hinsichtlich Inhalt und Funktion, nicht jedoch bezüglich Form und Qualität [unterscheiden]“ (S.906). Offensichtlich veranlasste dies Flavell jedoch nicht, die *Nützlichkeit* dieser Unterscheidung in Frage zu stellen. Letztlich muss wohl konstatiert werden, dass auch für die Psychologie gilt, was für andere Wissenschaften Geltung hat: Was grundlagentheoretisch richtig ist, muss sich in der Anwendung nicht unbedingt als sinnvoll erweisen. So besteht aus instruktionspsychologischer Perspektive kein Grund, die Unterscheidung von Kognition und Metakognition zu verwerfen.

Eine andere Kontroverse betrifft die instruktionspsychologisch bedeutsamere Frage, ob es sich bei metakognitiven Kompetenzen um bereichsspezifische (z. B. Weaver & Kelemen, 2002) oder generelle Fähigkeiten (z. B. Schraw, 2001) handelt. Im Zusammenhang damit wird auch diskutiert, ob metakognitive Kompetenzen isoliert oder in Kombination mit bereichsspezifischen Fähigkeiten (z. B. statistische Probleme zu lösen) trainiert werden sollten. Hier scheint sich mittlerweile die Auffassung durchzusetzen, metakognitive Fähigkeiten im Kontext spezifischer Wissensdomänen bzw. Leistungsbereiche einzuüben (vgl. Baker, 1994; Elshout, 1987; Hartman, 2001; Hasselhorn, 1992; Schneider & Hasselhorn, 1988; Schneider & Pressley, 1997; siehe auch Kap. 2.1.3.2).

Trotz dieser Probleme besteht weitgehend Einigkeit darüber, dass sich das Konstrukt *Metakognition* in mindestens zwei Teilkomponenten aufgliedern lässt: eine Wissenskomponente (Metakognition als Wissen über eigene kognitive Funktionen, Zustände und Aktivitäten) und eine Kontrollkomponente (Metakognition als prozessbegleitende Kontrolle und Steuerung von Lernaktivitäten). Diese traditionelle Zwei-Komponenten-Sichtweise wurde von verschiedenen Metakognitionsforschern auf unterschiedliche Weise weiter ausdifferenziert und ergänzt. So hat z. B. Hasselhorn (1992, 1998, 2003) vorgeschlagen, innerhalb der Wissenskomponente zwei weitere Subkategorien zu

unterscheiden, nämlich systemisches und epistemisches Wissen. Ersteres umfasst Wissen über Funktionsgesetzmäßigkeiten, Einflussfaktoren sowie Stärken und Schwächen eigener kognitiver Funktionen. Letzteres subsumiert Wissen über das eigene Wissen und seine Lücken sowie Wissen über die aktuelle kognitive Verfassung und Lernbereitschaft. Darüber hinaus fordert Hasselhorn zwei weitere Subkategorien in der Metakognitionsforschung mehr als bisher zu berücksichtigen: Zum einen die Sensitivitätskategorie (vgl. Flavell, 1976 und Flavell & Wellman, 1977) mit der das (intuitive und nicht notwendigerweise bewusste) Gespür dafür, dass eine spezifische Lernsituation strategische Aktivitäten erfordert, beschrieben wird. „Erst dieses Gespür sorgt dafür, dass das verfügbare Strategiewissen auch genutzt wird und strategisches Handeln in Gang gesetzt wird.“ (Hasselhorn, 1992, S. 38). Bei der zweiten Kategorie handelt es sich um die Kategorie der metakognitiven Erfahrungen (vgl. Flavell, 1979) mit der „bewusste kognitive Empfindungen (z. B. ‚verwirrt sein‘ über scheinbar widersprüchliche Information) oder affektive Zustände bezüglich der eigenen kognitiven Aktivität (z. B. ‚bedrückt sein‘ darüber, dass man die vorliegende Information nicht versteht)“ (Hasselhorn, 1998, S.348) gemeint sind. Efklides (2002) weist darauf hin, dass es sich bei metakognitiven Erfahrungen im Unterschied zu metakognitivem Wissen um „online Metakognitionen“ handelt, die im Arbeitsgedächtnis abrufbar sind. Eine ausführliche Diskussion zu Unterschieden und Ähnlichkeiten dieser beiden Formen von Metakognition liefert z. B. Efklides (2001).

Abschließend sei festgestellt, dass auch das Konzept der Mindfulness (Salomon & Globerson, 1987) einen Teilbereich metakognitiver Aktivitäten spezifiziert. Nach Langer (1989) meint Mindfulness einen Zustand der geistigen Wachheit gegenüber Vorgängen, Aktivitäten und der Umgebung, in die eine Person involviert ist, im Gegensatz zu einem passiv-reaktiven Bewusstseinsmodus, in dem Kognitionen und Verhaltensweisen automatisch und ohne Aufmerksamkeit entfaltet werden. Damit umfasst der Begriff sowohl kognitive als auch metakognitive Aktivitäten. „Umfassender als explizite

Abstraktion und aktives Monitoring fördert Mindfulness beide gleichermaßen“ (Perkins & Salomon, 1992).

Metakognitive Kontrollstrategien

Innerhalb der metakognitiven Kontrollkomponente lassen sich verschiedene Kontrollstrategien unterscheiden. Deren Taxonomie und Klassifikation ist allerdings durchaus uneinheitlich, so dass die nachfolgend vorgestellte Auswahl keine Allgemeingültigkeit beanspruchen kann. So werden z. B. im Rahmen des Cognitive Apprenticeship-Ansatzes (Collins, Brown & Newman, 1989) – bestimmte Designprinzipien dieses Ansatzes werden bei der Konzeption der hier vorgestellten Lernumgebung *Koralle* angewandt (siehe Kap. 3) – drei Kontrollstrategien unterschieden: Monitoring, Selbst-Diagnose und Selbst-Regulation (eine ausführliche Darstellung dieser Strategien liefert z. B. Gräsel, 1997).

Monitoring bezeichnet die Überwachung des eigenen Lernprozesses, „der Lernende blickt sich sozusagen selbst über die Schulter, bemerkt, wie er bei der Aufgabenbearbeitung vorgeht und bewertet seine Vorgehensweise in bezug auf das Ziel, das er erreichen will.“ (Gräsel, 1997, S. 76). Monitoring ist in dieser Sichtweise die Voraussetzung für weitere Kontrollaktivitäten, wie z. B. Bewertung (*evaluation*), Planung (*planning*) und Änderung (*revision*) des eigenen Vorgehens. Andere Autoren verwenden dieses Konzept ebenfalls, so z. B. Paris und Lindauer (1982), bei denen *Monitoring* allerdings als ein übergeordneter Begriff für sämtliche metakognitive Kontroll- und Steuerungsaktivitäten verwendet wird. Chi, Bassok, Lewis, Reimann und Glaser (1989) gliedern die Monitoring-Kategorie weiter auf und bezeichnen Kognitionen, die ein Verstehen bzw. Gelingen anzeigen als *positives Monitoring*, wohingegen Kognitionen, die ein Nicht-verstehen bzw. Verständnisschwierigkeiten indizieren *negatives Monitoring* darstellen.

Selbst-Diagnose bezeichnet diejenigen Prozesse, mit denen ein Lernender bei auftretenden Schwierigkeiten während des Lernens (z. B. wenn ein Aufgabe nicht gelöst werden kann) auf Ursachensuche geht. Am Ende dieser Prozesse steht

eine mehr oder weniger differenzierte Ursachenanalyse. Auch bei anderen Autoren z. B. bei Brown (Baker & Brown, 1984; Brown, Campione & Day, 1981) werden Prozesse beschrieben, mit denen sich Lernende ihres eigenen Wissens bzw. Nicht-Wissens vergewissern und Ursachen für Verständnisdefizite angeben.

Unter **Selbst-Regulation** werden Prozesse subsumiert, die in aller Regel der Selbst-Diagnose nachgeordnet sind. Sie bestehen nicht nur in der Planung weiterer Lernaktivitäten, sondern auch in der Festlegung auf einen bestimmten Lernweg sowie in der Auswahl von Strategien und deren tatsächlicher Anwendung. Vor allem Letzteres macht Selbst-Regulation im Grunde zu einer kognitiven und nicht metakognitiven Strategie, die in Folge selbstdiagnostischer Aktivitäten ausgeführt wird. Dennoch wird Selbst-Regulation innerhalb der Metakognitionsforschung als metakognitiver Vorgang konzeptualisiert. Gräsel (1997) nimmt zu diesem Problem Stellung und weist darauf hin, dass die „Frage, inwieweit Selbst-Regulation metakognitiv oder kognitiv ist, zweitrangig [ist]. Wichtig ist die allgemeine Übereinstimmung, dass die Fähigkeit der Lernenden, ihre Lernaktivitäten bei Hindernissen und Schwierigkeiten zu verändern, eine Voraussetzung für ein erfolgreiches Lernen ist.“ (S. 79).

Metakognition und Lernen

In diesem Kapitel sollen zunächst Befunde zum Zusammenhang von Metakognition und Lernleistung vorgestellt werden. Danach wird skizziert, wie bzw. unter welchen Voraussetzungen Metakognitionen einen positiven Einfluss auf die Lernleistung ausüben. Ein besonderer Stellenwert kommt in diesem Zusammenhang dem Vorwissen zu, dessen Rolle abschließend erörtert wird.

Metakognition und Lernleistung

Spätestens seit der Metaanalyse von Schneider (1985) besteht kein Zweifel mehr an der Existenz positiver Zusammenhänge zwischen Metakognition und Lernleistung. Schneider ermittelte für die damaligen Publikationen eine mittlere positive Korrelation von $r = .41$ zwischen den beiden Parametern. Weitere Forschung konnte diesen Befund für viele verschiedene Wissensdomänen (z. B.

für den Bereich der Statistik: Allwood, 1990) und unterschiedliche Lernformen (z. B. für das Lernen mit Hypertext: Bannert, 2003; Gerjets et al., 2005) grundsätzlich bestätigen (vgl. Chambres, Izaute, & Marescaux, 2002, Section III; Hacker, Dunlosky & Graesser, 1998; Hasselhorn, 1998). Insbesondere konnten für die metakognitive Kontrollkomponente bzw. verschiedene Kontrollstrategien (z. B. Monitoring) enge Zusammenhänge mit der Lernleistung nachgewiesen werden (z. B. Bielaczyk, Pirolli & Brown, 1993; Chi et al., 1989; Gräsel, 1997; Hasselhorn & Körkel, 1984; Pressley & Ghatala, 1990). Dies gilt auch für das Statistiklernen (z. B. Lan, Bradley & Parr, 1993).

Wirksamkeitsvoraussetzungen

Eine breite Befundlage stützt mittlerweile die (zweifelsohne naheliegende) Annahme, dass Metakognitionen ihre lernförderliche Wirkung nur im Zusammenspiel mit kognitiven und motivationalen Faktoren entfalten. Short und Weissberg-Benchell (1989) sprechen von einer „Triple-Allianz“ kognitiver, metakognitiver und motivationaler Komponenten. Deren Wechselwirkung wird insbesondere im Rahmen der Forschung zum *selbstgesteuerten Lernen*, die mit den 80er Jahren einsetzte und auf eigenständiges und selbstverantwortliches Lernen fokussiert, besondere Aufmerksamkeit geschenkt. In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff des selbstgesteuerten Lernens mit Paris und Winograd (1998) als übergeordneter Begriff verstanden „der Forschung über kognitive Strategien, Metakognition und Motivation unter ein kohärentes Konzept subsumiert...“ (S.4). Dementsprechend wird mit „Kompetenz im selbstgesteuerten Lernen“ ein Fähigkeitskonstrukt beschrieben, das sich aus eben diesen Faktoren zusammensetzt. *Metakognitive Kompetenz* definiert somit nur einen Teilbereich der Kompetenz zum selbstgesteuerten Lernen. Wie, so lässt sich vor diesem Hintergrund fragen, müssen bei hinlänglich vorhandenen metakognitiven Fähigkeiten die anderen Faktoren beschaffen sein, damit Metakognitionen lernförderliche Effekte zeigen.

Zunächst lassen sich mit Hasselhorn (1992, 1998) drei zentrale Bedingungen identifizieren, unter denen sich Metakognitionen (besonders) günstig auf die

Lernleistung auswirken (vgl. z. B. Brown, 1978; Kunz, 1992; Paris, 2002, der auch soziokulturelle Faktoren berücksichtigt; Schneider, 1985):

1. Vor allem bei Aufgaben von mittlerer subjektiver Schwierigkeit
2. Bei günstigen erfolgs- und handlungsorientierten Motivkonstellationen
3. Beim Lernen in einem neuen und unvertrauten Inhaltsbereich

Dabei ist für den ersten Faktor nicht die objektive Aufgabenanforderung entscheidend, sondern „inwiefern diese aufgrund des individuellen Lernstandes von einer Person bewältigt werden kann“ (S. 47). Der erste und dritte von Hasselhorn benannte Faktor verweist auf die besondere Rolle, die dem kognitiven Entwicklungsstand und dem Vorwissen für die positive Wirkung von Metakognitionen zukommt. Diesem Umstand wird auch in verschiedenen Modellen zum strategischen Lernverhalten Rechnung getragen, so z. B. im Modell des „Good Strategy Users“ (Pressley, Borkowski & Schneider, 1987). Gräsel (1997) betont in diesem Zusammenhang vor allem die Bedeutung des bereichsspezifischen Vorwissens für die Anwendung von Kontrollstrategien (vgl. auch Alexander & Judy, 1988; Hasselhorn & Körkel, 1986; McKeachie, 1987; Schneider, Körkel & Weinert, 1987; Veenman, 1993). Sie konstatiert, dass ein gewisses Maß an domänenspezifischem Vorwissen eine Voraussetzung dafür ist, „dass eigene Fehler überhaupt bemerkt werden können. Ebenso kann der Lernende nur dann geeignete Schritte der Selbst-Diagnose und Selbst-Regulation unternehmen, wenn er bereits über domänenspezifische Konzepte verfügt und beispielsweise weiß, *dass* es Fachwissen gibt, das die Schwierigkeiten beheben kann und *wo* dieses Fachwissen zu suchen ist.“ (S. 85). Andererseits ist mangelndes Bereichswissen zu einem gewissen Grad durch metakognitive Kompetenzen kompensierbar wie Hasselhorn (1992, 1998) hervorhebt. Darüber hinaus gibt es Befunde, die zeigen, dass auch Defizite im Bereich der Intelligenz ,im Sinne des Intelligenzquotienten, durch metakognitive Fähigkeiten kompensiert werden können (z. B. Alexander, Carr & Schwanenflugel, 1995; Swanson, 1990).

Mit der zweiten von Hasselhorn benannten Voraussetzung wird auf die Rolle der Motivation im Zusammenspiel mit Metakognitionen hingewiesen. Da es

jedoch nach wie vor an präzisen Modellvorstellungen darüber zu mangeln scheint, bei welcher Motivlage eine „maximale Ausnutzung“ (Hasselhorn, 1992, S.52) metakognitiver Fähigkeiten zu erwarten ist, ist mit der zweiten Feststellung nicht viel mehr gesagt, als dass Motivation *immer* eine Bedingungskomponente erfolgreichen Lernens ist.

Der Begriff der „maximalen Ausnutzung“ verweist jedoch auf das in der Metakognitionsforschung vielfach dokumentierte Problem, dass trotz vorhandener metakognitiver Fähigkeiten diese unter Umständen nicht oder nur suboptimal genutzt werden (sogenanntes Produktionsdefizit, siehe z. B. Bannert, 2003; Hasselhorn, 1995). Hasselhorn (1992, 1995), der Überlegungen von Flavell (z. B. Flavell & Wellmann, 1977) aufgreift, bietet hierzu einen Erklärungsansatz an, der auf die Sensitivitätskategorie rekurriert. Demnach kann ein Lernender über ausgezeichnetes deklaratives metakognitives Wissen und über ein ausreichendes Repertoire an Kontrollstrategien verfügen, „wenn ihm aber die *Sensitivität* für die Anwendbarkeit der ihm bekannten Strategien in unterschiedlichen Aufgabenkontexten fehlt, wird es in seinem konkreten Lernverhalten oft zu Inkonsistenzen mit seinen metakognitiven Kompetenzen kommen“ (Hasselhorn, 1992, S. 51). Im Grunde findet man hier auf der Ebene der Metakognitionen das für den Bereich der Kognitionen beschriebene *Transferproblem* wieder. Hier wie dort lassen sich verschiedene Erklärungstypen ausmachen – der Hasselhornsche Ansatz stellt gewissermaßen eine Variante des Strukturdefiziterklärungstyps dar, angewandt auf metakognitives Wissen.

Anders stellt sich die Sachlage dar, wenn ein Lernender vorhandenes metakognitives Wissen nicht anwenden *kann*, weil ihm das nötige bereichsspezifische Vorwissen fehlt. In diesem Fall liegen die Defizite nicht im Bereich der Metakognition, sondern der Kognition. Beispielsweise mag ein Student auf die Idee kommen, statistischen Lernstoff unter Verwendung einer kategorialen Strategie (ein-)zu ordnen (z. B. „Inferenzstatistik“, „Verfahren zur Überprüfung von Zusammenhangshypothesen“, „korrelationsstatistische Modelle“, usw.). Solange er aber nicht über hinreichendes statistisches Wissen verfügt, ist es für ihn schwierig oder unmöglich, entsprechende Ordnungs-

kategorien zu bilden, die ihm eine Anwendung dieser Lernstrategie ermöglichen würden. Dieses Beispiel verweist wiederum auf die besondere Bedeutung des Vorwissens für strategisches Lernverhalten.

Instruktionale Konsequenzen - Förderung metakognitiver Kompetenz

Grundsätzlich zeichnen sich erfolgreiche instruktionale Maßnahmen zur Förderung metakognitiver Kompetenz dadurch aus, dass sie bereichsspezifisch gestaltet und in den Lernprozess integriert sind (z. B. Bannert, 2003; Hasselhorn & Hager, 1998; siehe auch oben). Dabei lassen sich mit Friedrich und Mandl (1992) direkte von indirekten Fördermaßnahmen unterscheiden. Bei der direkten Förderung metakognitiver Fähigkeiten erfolgt ein explizites Strategie und Regulationstraining wie z. B. beim metakognitiven Textverarbeitungstraining von Hasselhorn und Körkel (1986). Die indirekte Förderung dagegen zeichnet sich dadurch aus, dass heuristische Hilfen in die Lernumgebung integriert und während des Lernens angeboten werden. Diese Lernhilfen haben im Allgemeinen den Charakter von Fragen bzw. Aufforderungen (sog. Prompts) und zielen darauf ab, spezifische metakognitive Aktivitäten zu initiieren. Die Wirksamkeit dieser Art von Förderung konnte in zahlreichen Untersuchungen für unterschiedliche Wissensdomänen bzw. Leistungsbereiche nachgewiesen werden, so z. B. für das Schreiben (z. B. Scardamalia & Bereiter, 1985), das Lesen (z. B. Palinscar & Brown, 1984), mathematisches Problemlösen (Schoenfeld, 1985) und Textverstehen (King, 1994).

Für das Lernen mit computerbasierten Lernumgebungen liegen ebenfalls eine Reihe von Studien vor, mit denen die Wirksamkeit von Promptingmaßnahmen z. T. bestätigt werden konnte. So variierten Lin und Lehmann (1999) in einem Experiment zum Lernen mit einem Biologie-Simulationsprogramm drei Arten von Lernprompts: Begründungs-Prompts (reason-justification prompts), mit denen Lernende aufgefordert wurden, ihre Lernaktivitäten und Lernentscheidungen zu begründen bzw. zu erklären (z. B. „Wie entscheiden Sie, was als nächstes zu tun ist?“); regelbasierte Prompts (rule-based prompts), die verlangten, sich die Regeln und Prozeduren der Wissensdomäne zu vergegenwärtigen und zu

erklären (z. B. „Welche Variablen testen Sie?“) und emotional-motivationale Prompts (emotion-focused prompts), welche die Aufmerksamkeit der Lernenden auf emotionale und motivationale Zustände lenken sollten (z. B. „Wie fühlen Sie sich gerade?“). Jeder dieser Prompts sollte unterschiedliche Teilbereiche metakognitiver Kompetenz unterstützen: Begründungs-Prompts zielen darauf ab, exekutive Kontrollaktivitäten anzuregen, mit regelbasierten Prompts werden Lernende dazu aufgefordert, aufgabenspezifisches Strategiewissen abzurufen, emotional-motivationale Prompts sollen die Überwachung (Monitoring) emotional-motivationaler Zustände fördern. Die Integration dieser Prompts in den Lernprozess erfolgte zu drei festgelegten Zeitpunkten: Zu Beginn des Lernens, nach der Materialsammlung und gegen Ende des Lernens. Im Ergebnis zeigte sich, dass sich durch alle Arten von Prompts die Lernperformanz bei nahen Transferaufgaben (gegenüber einer Kontrollgruppe) steigern ließ. In den Aufgaben zum weiten Transfer erbrachten jedoch diejenigen Lernenden, welche Begründungs-Prompts erhielten, signifikant bessere Lernleistungen als die anderen Lernenden. In einer Studie jüngerer Datums (Bannert, 2003) erwiesen sich die metakognitiven Lernhilfen ebenfalls vor allem bei Aufgaben zum weiten Transfer (bei Bannert: Anwendungswissen) als wirksam. Für das Behalten relevanter Begriffe und für das Faktenwissen konnten dagegen keine signifikanten Effekte erzielt werden.

Die Aufforderung, Lern- oder Problemlöseaktivitäten zu begründen, ist ein instruktionales Mittel, das sich auch in anderen Forschungskontexten als wirksam erwiesen hat. So berichten z. B. Gagné und Smith (1962), dass Probanden, denen die Instruktion vorlag, ihre Lösungen zu begründen, ihre Problemlöseperformanz steigern konnten. Für die Domäne Statistik hat u. a. Allwood (1984; 1990) den Zusammenhang zwischen Begründungen von Problemlöseentscheidungen bzw. -aktivitäten und der Qualität von Lösungen untersucht. Er kam einschränkend zu dem Schluss, dass Lernende nur dann von der Instruktion, Begründungen zu geben, profitieren, wenn ihnen das entsprechende domänenspezifische Vorwissen zur Verfügung steht (Allwood, 1990; S. 189) oder kurz gesagt: Die Steigerung der Lernperformanz hängt von der Qualität der Begründungen ab, die wiederum

maßgeblich davon abhängt, inwieweit den Lernenden das nötige Vorwissen (z. B. im Rahmen der Instruktion) zur Verfügung steht.

In anderen, sogenannten Prompting-Studien konnte ebenfalls nachgewiesen werden, dass metakognitive Lernaufforderungen in computerbasierten Lernumgebungen die Lernleistung verbessern (z. B. Veenman, 1993). In Übereinstimmung mit der metakognitiven Forschung zum Zusammenhang von Metakognition und Lernen zeigte sich dabei jedoch auch, dass metakognitive Prompts vor allem bei Lernenden mit hinreichenden intellektuellen Fähigkeiten, einem Mindestmaß an Vorwissen und mittelschweren Aufgaben wirksam sind (Simons & De Jong, 1992). Auf die Gründe hierfür wurde bereits oben hingewiesen. Die Studien zum computerbasierten Lernen verweisen jedoch noch auf einen weiteren Faktor. So folgert z. B. Veenman (1993), in dessen Studie metakognitives Prompting nur bei entsprechend intelligenten Lernenden die erwünschten Effekte zeigte, dass die Lernenden mit niedrigen intellektuellen Fähigkeiten mit dem Abarbeiten der metakognitiven Hilfe vermutlich mental überlastet waren und sich bei ihnen daher keine Leistungssteigerung erzielen ließ. Ähnlich resümiert Bannert (2003), in deren Untersuchung vorwissensschwache Lernende wenig oder gar nicht von der angebotenen Lernhilfe profitieren konnten:

„Da die metakognitiven Lernhilfen während des Lernens zusätzliche mentale Kapazitäten beanspruchen, ist zu vermuten, dass sich Personen mit geringem Vorwissen nicht oder nur mühsam beim Lernen darauf einlassen, weil die Kapazität ihres Arbeitsgedächtnisses aufgrund fehlender Schemata mehr ausgelastet bzw. erschöpft ist, sie sozusagen keine freien mentalen Kapazitäten aufweisen.“ (Bannert, 2003, S.18).

In Bannerts Studie erhielten die Lernenden, ähnlich wie bei der Untersuchung von Lin und Lehmann (1999), die Unterstützungsmaßnahme zu festgelegten Zeitpunkten. Außerdem war es der Versuchsleiter, der die Lernenden zu diesen Zeitpunkten zu metakognitiven Aktivitäten aufforderte. Es ist zu vermuten, dass diese Art der Unterstützung zu zusätzlichen Interferenzen im Lernprozess und damit zu mentaler Anstrengung führt. Wünschenswert wäre aber eine möglichst

„natürliche“ Integration der metakognitiven Lernhilfen in den Lernprozess. So sollte z. B. eine Aufforderung zur Begründung von Lernentscheidungen im optimalen Fall dann gegeben werden, wenn der Lernende tatsächlich gerade eine Lernentscheidung trifft.

Insgesamt lässt sich folgern, metakognitive Lernhilfen so wenig komplex wie möglich zu gestalten und möglichst „natürlich“ in den Lernprozess zu integrieren, um insbesondere auch vorwissensschwachen Lernenden zu ermöglichen, von diesen Hilfen zu profitieren.

2.1.4 Andere Lernvoraussetzungen und Lernermerkmale

Neben kognitiven, motivationalen und metakognitiven Lernvoraussetzungen werden in der Literatur zum Statistiklernen auch andere lernerseitige Faktoren diskutiert, wie Emotionen und Einstellungen gegenüber Statistik und empirischen Forschungsmethoden. Insbesondere in den sozial- und wirtschaftswissenschaftlichen Studiengängen sind negative Emotionen und Einstellungen gegenüber Statistik bei einem nicht unerheblichen Teil der Studierenden anzutreffen. So gaben in einer Studie von Abel, Bühner, Pläßmeier & Püttmann (1999) knapp 40% der befragten Psychologiestudenten an, vor Statistik Angst gehabt zu haben. Gruber et al. (1995) berichten über insgesamt eher negative Einstellungen gegenüber der Methodenausbildung bei Studenten der Sozialwissenschaften. Verschiedene Studien liefern außerdem Belege dafür, dass diese Faktoren die Lernleistung beeinflussen (Benson, 1989; Elmore, Lewis & Bay, 1993; Green, 1994; Gruber, 1994; Roberts & Saxe, 1982; Schwarzer, Seipp & Schwarzer, 1989; Wise, 1985). Allerdings wurden die Lernleistungen in diesen Untersuchungen im Kontext einer Prüfung, eines Statistikkurses oder einer Klausur erhoben. Dementsprechend wurden als Lernerfolgsmaße Prüfungs- und Klausurleistungen, oder die Gesamtnote für einen Statistikkurs verwendet. Da aber, in Übereinstimmung mit der vorwissenschaftlichen Erfahrung, eine Vielzahl von Befunden dafür spricht, dass beispielsweise die Wirkungsweise von Angst auf den Lernerfolg situations- und bereichsspezifisch ist (Helmke & Weinert, 1997;

vgl. Stark, 2001), bleibt unklar, inwieweit die Ergebnisse dieser Studien auf andere Lernsituationen generalisiert werden können.

Neben Emotionen und Einstellungen wurde insbesondere auch das Geschlecht der Lernenden als potentielle Determinante des Lernerfolgs untersucht. Hierzu ist die Befundlage allerdings uneinheitlich. Schram (1996) hat in einer Metaanalyse den Einfluss des Geschlechts auf den Lernerfolg in Statistik bei Studenten der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften untersucht: Geschlechtsspezifische Effekte variierten in Abhängigkeit von der Semesteranzahl, dem Institut, an dem die Studenten in Statistik ausgebildet wurden und dem verwendeten Lernerfolgsmaß. Hinsichtlich des Lernerfolgsmaßes zeigte sich, dass Studentinnen ihren männlichen Kommilitonen im Allgemeinen überlegen sind, wenn es um Gesamtnoten, in die u.a. auch die Leistungen bei Hausarbeiten einfließen, geht. Männer schneiden dagegen in der Regel besser bei Leistungstests ab. Schram (1996) vermutet, dass diese Unterschiede auf geschlechtsspezifisches Prüfungs- und Lernverhalten zurückzuführen sind.

Tempelaar (2002) fand in einer jüngeren Studie zum Statistiklernen an 1000 Studenten der Wirtschaftswissenschaften Hinweise darauf, dass Frauen weniger korrekte Überzeugungen und mehr statistische Fehlkonzepte aufweisen als Männer (vgl. Garfield, 1998; Liu, 1998). Bei der Verrechnung des Faktors *Geschlecht* zusammen mit anderen potentiellen persönlichkeitsbezogenen Einflussgrößen (traits) in einem regressionsanalytischen Modell, erwies sich dieser jedoch als nicht signifikant. Der einzige signifikante Regressor war das Persönlichkeitsmerkmal *Gewissenhaftigkeit*, der 1,5% der Gesamtvarianz erklären konnte.

Vor kurzem fanden Gerjets et al. (2005) in einer Studie zum hypertextbasierten Lernen zu Grundbegriffen der Kombinatorik Belege dafür, dass die Effekte von Instruktionsmaßnahmen vom Geschlecht der Lernenden abhängig sind.

In der vorliegenden Untersuchung wurden keine emotionalen Merkmale bzw. Einstellungen berücksichtigt, da im Zusammenhang mit einer freiwilligen

Versuchsteilnahme keine ausgesprochen negativen Emotionen oder Einstellungen zu erwarten sind. Vor diesem Hintergrund ist mit Varianzeinschränkungen zu rechnen, die große Effekte dieser Faktoren unwahrscheinlich machen.

Bei der randomisierten Zuweisung der Probanden zu den Versuchsbedingungen erfolgte keine Stratifizierung nach dem Geschlecht der Teilnehmer. Geschlechtseffekte werden daher statistisch kontrolliert, sollte sich herausstellen, dass sich die Teilnehmer hinsichtlich des Geschlechts asymmetrisch auf die beiden Bedingungen verteilen.

2.2 Instruktionale Ansätze im Bereich Statistik

Während insbesondere zu den kognitiven Aspekten des *Statistiklernens* eine Vielzahl an empirischen Untersuchungen vorliegt und auf diesem Feld bereits seit langem ausgedehnte Forschungsbemühungen zu verzeichnen sind, gibt es bis heute bemerkenswerterweise nur relativ wenige empirisch fundierte Studien zu der Frage, wie Statistik *gelehrt* werden sollte. So resümiert Becker (1996) in einem Überblicksartikel zur Literatur (und anderen Ressourcen) zum Lehren der Statistik bis zum Jahr 1996 wie folgt:

„Die gedruckte Literatur über das Lehren der Statistik ist weitgehend anekdotisch und umfasst in der Hauptsache instruktionale Empfehlungen, die auf den Erfahrungen und Intuitionen individueller Lehrer fußen. Weniger als 30 Prozent der Literatur berichtet Ergebnisse aus empirischen Studien...“ (Becker, 1996, S. 71).

An dieser Situation hat sich nach Kenntnis des Verfassers bis heute nicht sehr viel geändert (siehe auch das nachfolgende Kapitel). Dementsprechend dünn gesät sind auch *empirische* Studien zum instruktionalen Einsatz des Computers im Bereich der Statistik. In absoluten Zahlen bedeutet dies, dass es nur 56 empirische Studien gibt, von denen 18 den Computer in seiner Funktion als Rechenhilfe untersuchen oder der Evaluation von Software dienen. Lediglich 39 Untersuchungen widmen sich den Möglichkeiten des Computers zur

instrukionalen Unterstützung von Lernprozessen (Becker, 1996). Verglichen mit der zunehmenden und immer unübersichtlicheren Anzahl an nicht-empirischen Quellen, die vor allem in elektronischer Form vorliegen (z. B. Statistik-Diskussionsforen, Online-Journale wie das *Journal of Statistics Education*, *Teaching Statistics*, im Netz verfügbare Datensätze), nimmt sich die Anzahl empirischer Arbeiten immer geringer aus. Zuversichtlich stimmt allerdings, dass es in den letzten Jahren zu einer Reihe integrativer Forschungsbemühungen kam und Institutionen gegründet wurden, die sich u. a. der Aufgabe widmen, die Vielzahl an bestehenden Ressourcen und Veröffentlichungen organisatorisch zusammenzuführen, so z. B. die *IASE Statistical Education Research Group* (seit 2000), eine spezielle Interessengruppe innerhalb der *IASE (International Association for Statistical Education)*. Damit einher geht die Forderung, der Forschung zu Erziehung und Unterricht im Bereich Statistik (statistics education) einen eigenständigen Platz innerhalb der akademischen Disziplinen einzuräumen (Pereira-Mendoza et al., 1998).

Ein anderer Mangel der instrukionalen Forschung zur Statistik besteht in ihrer Theoriearmut und dem Fokus auf z. T. hochspezialisierte didaktische Werkzeuge und Technologien (vgl. Mills, 2002). Das ist insoweit erstaunlich, als sich z. B. aus der kognitiv orientierten Forschung zum Statistiklernen eine Reihe von didaktischen Leitlinien ableiten ließe (siehe Kapitel 2.1.1) und andererseits instruktionale Ansätze und Theorien (z. B. zum problemorientierten Lernen) vorliegen, die sich in anderen Domänen bereits bewährt haben. Ein solcher Ansatz, das Lernen mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen, wird im Folgenden skizziert und am Beispiel der computer- bzw. netzbasierten Statistik-Lernumgebung *NetBite* eingehender untersucht. Zuvor wird jedoch das Statistiklernen mit computerbasierten Lernumgebungen überblickshaft dargestellt. Der Mangel an empirischer Evidenz zum Statistiklernen macht es wiederum erforderlich, Befunde aus anderen Domänen und Forschungsansätzen (z. B. zum Lernen mit dynamischen Visualisierungen) heranzuziehen.

2.2.1 Statistik-Lernen mit computerbasierten Lernumgebungen

Einen großen Einfluss auf Lehren und Lernen im Bereich Statistik hatte zweifelsohne die Entwicklung des Personalcomputers und vergleichsweise benutzerfreundlicher Software wie SPSS, SAS, Excel oder Minitab und deren Integration in den Statistikunterricht (Mills, 2002). Mit diesen Werkzeugen war es nun möglich, statistische Prozeduren und Berechnungen auf schnellere und effizientere Weise durchzuführen. Lernenden und Lehrenden der Statistik stand dadurch mehr Raum für die Beschäftigung mit statistischen Begriffen und Konzepten bzw. deren didaktischen Aufarbeitung zur Verfügung (Giesbrecht, 1996; Goodman, 1986; Gratz, Volpe & Kind, 1993; Hubbard, 1992; Marasinghe, Meeker, Cook & Shin, 1996; McBride, 1996; Mittag 1992; Packard, 1993; Sullivan, 1993; Velleman & Moore, 1996). Inwieweit dieser Vorteil jedoch dazu führt, dass sich Lernende über das mechanische Beherrschen von Prozeduren zur Datenanalyse (Marasinghe et al., 1996) hinaus auch *abstrakte* statistische Begriffe leichter aneignen, ist unklar. Ohnehin sind die meisten im Statistikunterricht tätigen Dozenten und Lehrer nach wie vor hauptsächlich daran interessiert, dass ihre Schüler in der Lage sind, routinemäßige Datenanalysen durchzuführen, oft in der vagen Hoffnung, damit den Erwerb von statistischer Kompetenz zu verbessern, wie Mills (2002, S. 2) für das amerikanische Schul- und Universitätssystem feststellt.

In jüngster Zeit haben daher eine Reihe von Wissenschaftlern und Lehrern empfohlen, *Computer-Simulations-Methoden* (CSM) und *dynamische Visualisierungen*, die durch neuere Technologien vergleichsweise einfach zu implementieren sind, für instruktionale Zwecke zu nutzen. Nach Mills (2002) ermöglicht CSM den Lernenden, mit Zufallsstichproben aus einer Population mit bekannten Parametern zu experimentieren. Dadurch sollen Konzepte und Theoreme der Statistik auf klärende Weise veranschaulicht werden, wie z. B. das zentrale Grenzwerttheorem. Dazu erzeugen die Lernenden beispielsweise für ein nichtnormalverteiltes Merkmal M 50 Zufallsstichproben der Größe 30 und berechnen den Mittelwert für jede Stichprobe. Ein Histogramm der Mittelwerte zeigt dem Lernenden dann, dass sich die Mittelwerte normal verteilen.

Dieses einfache Beispiel zeigt zwei Merkmale, die vielen CSM zu eigen sind: Erstens stellt das Bild des Histogramms eine *dynamische* Visualisierung dar, d.h. es verändert sich (der Datenlage entsprechend, u. U. nach Ablauf einer kleinen Animation). Und zweitens haben die Lernenden die Möglichkeit, bestimmte Variablen (Stichprobengröße, Anzahl der Stichproben) *interaktiv* zu verändern und Auswirkungen dieser Veränderung auf das dynamische Bild des Histogramms zu beobachten. Solche interaktiven dynamischen Visualisierungen sind auch ein beliebtes Mittel, um Korrelation und Regression zu veranschaulichen (zu finden auf vielen Online-Lernumgebung, wie z. B. *ViLeS*, einer Lernumgebung der Universität Oldenburg unter <http://viles.zef.uni-oldenburg.de>). In einer einfachen Form erzeugt der Benutzer dabei z. B. per Mausklick Datenpunkte auf einem Streudiagramm und beobachtet die Veränderung der Regressionsgerade und des Korrelationskoeffizienten entsprechend seiner Eingaben.

Aus der Perspektive der kognitiven Psychologie liegt der instruktionale Nutzen von Visualisierungen vor allem darin, den Erwerb mentaler Modelle über Konzepte und Begriffe zu unterstützen. Interaktive dynamische Visualisierungen sollen darüber hinaus eine aktivere und konstruktivere Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand ermöglichen (vgl. Rieber, Tzeng & Tribble, in press; Schnotz, Boeckheler & Grzondziel, 1999). (Sie haben sich dabei gegenüber nicht-interaktiven dynamischen Visualisierungen als überlegen erwiesen, vgl. Rieber, 1990). Es hat sich jedoch gezeigt, dass Lernende große Schwierigkeiten haben, selbständig mit dynamischen Bildern zu interagieren und die zum erfolgreichen Entdeckungslernen notwendigen Schritte unangeleitet durchzuführen. Beispielsweise haben sie häufig Probleme, sinnvolle Hypothesen zu formulieren, zur Überprüfung bestimmter Annahmen geeignete Veränderungen von Variablen auszuwählen sowie die beobachteten Auswirkungen auf die Visualisierungen adäquat zu interpretieren (z. B. de Jong & van Joolingen, 1998; Njoo & de Jong, 1993; Reigeluth & Schwartz, 1989). Darüber hinaus gelingt es Lernenden häufig nicht, ihre Experimente systematisch und zielführend zu planen, so dass sie eher zufällig mit den Simulationen interagieren (z. B. de Jong & van Joolingen, 1998;

Schauble, Glaser, Raghavan & Reiner, 1991). Wie das Verarbeiten multipler Repräsentationen kann auch das Verarbeiten dynamischer und interaktiver Visualisierungen das Arbeitsgedächtnis der Lernenden überfordern und zu kognitiver Überlastung führen (z. B. Lowe, 1999).

Diese und weitere Schwierigkeiten im Umgang mit dynamischen Visualisierungen (für einen aktuellen Überblick, siehe z. B. Bodemer, 2004) sind vermutlich auch dafür verantwortlich, dass sich die augenscheinlichen Vorteile dynamischer Visualisierungen insbesondere im Vergleich mit statischen Visualisierungen bisher empirisch häufig nicht bestätigen ließen (z. B. Anglin, Towers & Levie 1996; Lewalter, 2003; Park & Hopkins, 1993; Schnotz, Böckheler, Grzondziel, Gärtner & Wächter, 1998). Mills (2002), der in einem Überblick über die instruktionale Forschung zu CSM im Bereich des Statistiklernens auch Simulationsmethoden mit anderen Merkmalen untersucht (z. B. solche, bei denen die Lernenden eigene Modelle programmieren und diagnostizieren), kommt zu einem ähnlichen Ergebnis, wenn er feststellt, dass „eine Besprechung der Literatur sehr wenig empirische Evidenz liefert, welche die Empfehlung [CSM für instruktionale Zwecke zu nutzen] untermauert“ (S. 1). Morris, Joiner & Scanlon (2002) haben in einer experimentellen Studie u. a. die Wirkung einer Simulationsmethode und multipler Repräsentationen auf den Wissenserwerb zur Korrelation nach Pearson erprobt und kamen zu dem Schluss, „dass die Ergebnisse anzeigen, dass Aktivitäten dieser Art [wie direktes Manipulieren von Daten] nicht notwendig dazu beitragen, dass Studenten Korrelationen verstehen.“ (S.1).

Um den Schwierigkeiten beim Lernen mit dynamischen Visualisierungen im Besonderen und multiplen Repräsentationen im Allgemeinen zu begegnen, wurden verschiedene Unterstützungsmaßnahmen vorgeschlagen, die jedoch häufig nicht den erwünschten Effekt erzielten. In manchen Fällen (z. B. Seufert, 2003) führte die instruktionale Maßnahme sogar zu einer weitgehenden kognitiven Überlastung der Lernenden (für einen Überblick siehe wiederum Bodemer, 2004, der auch eine neue Unterstützungsmaßnahme entwickelt hat).

Kognitive Überlastung ist allerdings ein Problem, das nicht nur beim Lernen mit dynamischen Visualisierungen auftritt, sondern beim Lernen mit multiplen Präsentationsformen (z. B. Text und Bild) im Allgemeinen, da es hier zu den von Theorie der kognitiven Belastung (siehe Kapitel 2.1.1) beschriebenen Effekten geteilter Aufmerksamkeit (*split attention*) kommt. Die Arbeitsgruppen von Sweller (z. B. Chandler & Sweller, 1991; Tarmizi & Sweller, 1988) und Mayer (2001; Moreno & Mayer, 1999) haben daher vorgeschlagen, unterschiedlich repräsentierte Information in einem räumlich integrierten Format zu präsentieren (z. B. Text im Bild), anstatt getrennt voneinander in einem sogenannten *Split Source*-Format (z. B. Text unter Bild). In einer Vielzahl experimenteller Studien konnte belegt werden, dass ein integriertes Format durch eine Verminderung visueller Suchprozesse und eine damit einhergehende Reduzierung kognitiver Belastung zu besseren Lernleistungen führen kann (z. B. Chandler & Sweller, 1991, 1992; Sweller & Chandler, 1994). Mayer (2001) nennt dies das *Prinzip räumlicher Kontiguität*.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Empfehlung, CSM und insbesondere dynamische Visualisierungen für instruktionale Zwecke zu nutzen, und die weite Verbreitung dieser Werkzeuge in Lernumgebungen unterschiedlichster Herkunft auffallend mit der empirischen Befundlage kontrastiert und sich aus dieser (bislang) kaum ableiten lässt. Über mögliche Gründe hierfür wurde oben bereits berichtet. Aus Sicht des Verfassers, der knapp 30 Online-Lernumgebungen mit CSM bzw. interaktiven dynamischen Visualisierungen durchgesehen hat, sollte jedoch insbesondere für die im Bereich des Statistiklernens eingesetzten CSM kritisch in Betracht gezogen werden, dass diese zumeist unzureichend in ein instruktionales Gesamtkonzept eingebettet sind (vgl. Mills, 2002).

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass es neben Effekten der Präsentationsform beim computerbasierten Lernen zu berücksichtigen gilt, dass die Lernenden ein ihren Lernvoraussetzungen entsprechendes Maß an instruktionaler Unterstützung erhalten sollten. Es ist hierbei darauf zu achten, dass die Lernenden weder zu sehr eingeschränkt noch durch zu viel Freiraum

überfordert werden (vgl. Mandl & Krause, 2003). Offene hypermediale Lernumgebungen beispielsweise ermöglichen einen hohen Grad an Selbststeuerung. Diese Offenheit kann jedoch zu Überforderung, kognitiver Überlastung und Desorientierung führen (Conklin, 1987; Gerjets & Scheiter, 2003; Gerjets et al., 2003; Marchionini, 1990; Romiszowski, 1990). Lernende reagieren darauf häufig mit unreflektiertem *Datensammeln* (vgl. Gräsel & Mandl, 1993). Neben Überforderung zeigt sich auch eine *Flucht ins Detail*, d. h., dass der Gesamtzusammenhang ausgeblendet wird (vgl. Frau, Mindora & Pedemonte, 1992). Ein effektives Lernen findet also nur statt, wenn Lernende bereits über hinreichende Kompetenzen im selbstgesteuerten Lernen insbesondere über ausreichende metakognitiven Fähigkeiten verfügen bzw. wenn sie geeignete instruktionale Unterstützung erhalten (Fischer & Mandl, 2002). Diese Zusammenhänge werden am Beispiel der Lernumgebung *NetBite* im übernächsten Kapitel weiter expliziert. Im folgenden Kapitel soll zunächst aber das Lernen mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen erläutert werden. Sowohl *NetBite* als auch *Koralle* basieren auf diesem instruktionalen Ansatz.

2.2.2 Beispielbasiertes Lernen

Unter einem ausgearbeiteten Lösungsbeispiel wird in der Lösungsbeispielforschung eine ausgewählte Problemstellung verstanden, die zusammen mit einer möglichst detaillierten Darstellung des Lösungsweges vorgegeben wird, der von den Lernenden elaboriert werden muss (Stark, 2001). Im Folgenden werden ausgewählte Befunde zur Effektivität des Lernens mit Lösungsbeispielen, Maßnahmen zur Förderung der Effektivität dieser Lernform und Bezüge zum computerbasierten Lernen vorgestellt.

Effektivität beispielbasierten Lernens

Sowohl die Effektivität als auch die Effizienz des beispielbasierten Lernens ist für viele Inhaltsgebiete hinreichend belegt (Reimann, 1997; Renkl, 2001; Stark, 1999, 2001; Renkl & Atkinson, im Druck). Die relative Überlegenheit von Lernumgebungen auf Lösungsbeispielbasis wird von verschiedenen Autoren

damit erklärt, dass Lösungsbeispiele – etwa im Vergleich zu konventionellen Problemlöseaufgaben – einen geringeren kognitiven Verarbeitungsaufwand erfordern und zudem eine lernwirksame Fokussierung der Aufmerksamkeit ermöglichen, worauf bereits in Kapitel 2.1.1 hingewiesen wurde. Dadurch sollen sowohl Schemaerwerb als auch Regelautomatisierung gefördert werden (vgl. Kap 2.1.1).

Entscheidend für die Wirksamkeit dieser Lernmethode ist jedoch die Qualität der Verarbeitung von Beispielinformation bzw. die Qualität der Beispielelaboration (Stark, 1999; Sweller & Cooper, 1985), um die es häufig nicht gut bestellt ist: Viele Lernende elaborieren Lösungsbeispiele spontan zu passiv und oberflächlich (Chi et al., 1989; Gerjets & Scheiter, 2003; Renkl, 1997; Stark, 1999) und schöpfen dadurch das Potenzial dieser Lernmethode nur ungenügend aus. Es ist deshalb angezeigt, ausgearbeitete Lösungsbeispiele mit zusätzlichen instruktionalen Maßnahmen zu verbinden (Atkinson, Derry, Renkl & Wortham, 2000; Stark, 1999; 2000, 2005).

Maßnahmen zur Förderung der Effektivität beispielbasierten Lernens

Eine besonders ökonomische Vorgehensweise, die sich beim initialen Lernen in wohl strukturierten Domänen bewährt hat, stellen die systematische *Kombination* von ausgearbeiteten Lösungsbeispielen und Problemlöseaufgaben (Stark, Gruber, Renkl & Mandl, 2000) oder die Vorgabe *unvollständiger* Lösungsschritte dar (Paas, 1992; Stark, 1999). Das selbstständige Bearbeiten einzelner Lösungsschritte oder kompletter Problemlöseaufgaben unterstützt Aktivität und Selbststeuerung der Lernenden und stellt ein Korrektiv für Verstehensillusionen dar, die (aus nahe liegenden Gründen) gerade bei dieser Lernmethode häufig vorkommen (Stark, 1999). Wenn nachfolgend analoge Lösungsbeispiele bereitgestellt werden, fungieren diese als elaborierte Feedbackmaßnahmen, die der Korrektur von Fehlern dienen und etwaige Wissenslücken kompensieren können. Beide Vorgehensweisen lassen sich auch sinnvoll kombinieren und in eine Art *Fading-Prozedur* – dem *Fading*-Prinzip des *Cognitive-Apprenticeship*-Ansatzes (Collins et al., 1989) entsprechend – integrieren, bei der anfänglich

vollständig präsentierte Beispielinformation sukzessiv ausgeblendet wird (Renkl, Atkinson, Maier & Staley, 2002; Renkl, Atkinson & Große, 2004).

Auch andere instruktionale Maßnahmen erwiesen sich als effektiv, in der Regel war deren Gestaltung bzw. Umsetzung jedoch etwas aufwendiger (z. B. Elaborationstraining, vgl. Stark, Graf, Renkl, Gruber & Mandl, 1995). Manche Maßnahmen wiederum (z. B. in Lösungsschritte eingebaute Fehler wie bei Große & Renkl, 2003) wurden noch nicht intensiv erforscht.

Speziell in komplexeren, weniger strukturierten Inhaltsgebieten sind zusätzliche Maßnahmen wie z. B. die Einbettung von Lösungsbeispielen in *multiple Problemkontexte* (Stark, Gruber, Mandl, Renkl & Hinkofer, 1999), das Aufzeigen *multipler Lösungswege* (Große & Renkl, 2003) und die Induktion von *Perspektivenwechseln* (Stark, Gruber, Mandl & Hinkofer, 2001) angezeigt. Durch diese Maßnahmen wird mechanisches, wenig reflektiertes Vorgehen erschwert, Übervereinfachungen und Fehlkonzepten wird entgegen gewirkt. Damit wird der Aufbau multipler und flexibler Repräsentationen gefördert, die die Basis für spätere Transferleistungen bieten. Bei der *Umsetzung* derartiger Maßnahmen, die sich wie in Kapitel 2.1.1 gezeigt wurde, auch aus kognitivistischer Perspektive und insbesondere für das Statistiklernen empfehlen, kann auf einen gut untersuchten situierten Instruktionsansatz zurückgegriffen werden: die *Random Access-Instruction* bzw. die *Cognitive Flexibility-Theory* (Spiro, Coulson, Feltovich & Anderson, 1988; Spiro, Feltovich, Jacobson & Coulson, 1991).

Ein Grundproblem bei der Implementation zusätzlicher instruktionaler Maßnahmen besteht jedoch darin, dass diese oft zu einem Anstieg der kognitiven Belastung führen (vgl. Kap. 2.1.1 und Kap. 2.2.1). Das gilt insbesondere für flexibilitätssteigernde Maßnahmen. Eine entscheidende Erfolgsbedingung für deren Anwendung besteht daher in der Verbindung mit Maßnahmen, die kognitiver Überlastung entgegenwirken können. Hier hat sich u. a. die Integration sog. *instruktionaler Erklärungen* (Renkl, 2001, 2002; Stark, 2001, Kapitel 3) bewährt. Diese werden nach Möglichkeit in *optionaler* und *adaptiver* Form vorgegeben (Stark, 1999; 2000). Damit lassen sich wichtige Hinter-

grundinformationen bereitstellen, die Verständnisproblemen entgegenwirken und dadurch gerade das Verständnis *komplexer* Sachverhalte erleichtern.

Die Anreicherung beispielbasierten Lernens mit bestimmten instruktionalen Maßnahmen, wie z. B. multiplen Perspektiven (vgl. Quilici & Mayer, 1996), ist auch aus einer *motivationalen* Perspektive angezeigt (Stark, 2001). Insbesondere aus dem situierten *Anchored-Instruction-Ansatz* (Cognition and Technology Group at Vanderbilt, 1993; 1997) lassen sich Designprinzipien ableiten, die in erster Linie *motivationalen Zielen* dienen (Stark & Mandl, 2000). So hat es sich z. B. im Kontext der Studien von Stark und seinen Mitarbeitern (z. B. Krause & Stark, 2004; Stark, 2001) zur Förderung des Wissenserwerbs im Bereich empirischer Forschungsmethoden und Statistik bewährt, sämtliche Aufgabenstellungen in eine *authentische*, für die Studenten *relevante* Situation bzw. Geschichte einzubetten (*narratives Format*). Sämtliche Daten, die für Problemlösungen gebraucht wurden, wurden dabei in diese Geschichte integriert (*eingebettete Daten*).

Beispielbasiertes Lernen in computerbasierten Lernumgebungen

Die Implementation multipler Problemkontexte und die Induktion von Perspektivenwechseln sowie die Integration von optionalen instruktionalen Erklärungen (z. B. in Form eines Glossars) werden durch die technischen Möglichkeiten computerbasierter Lernumgebungen erheblich erleichtert. Computerbasierte Lernumgebungen bieten darüber hinaus die Möglichkeit, Prinzipien beispielbasierten Lernens dadurch effektiv umzusetzen, dass Beispielinformation bzw. Lösungsschritte visualisiert dargeboten werden (vgl. Kap. 2.2.1). Zudem unterstützen computerbasierte, insbesondere nicht-linear strukturierte Lernumgebungen eine aktive, selbstgesteuerte, an individuellen Bedürfnissen der Lernenden ausgerichtete Beschäftigung mit Lerninhalten (Gerjets et al., 2005, Rouet & Levonen, 1996). Auf diese Weise können auch angesichts hoher Studentenzahlen an der Universität einzelne Lernende gezielte Unterstützung erfahren (vgl. Stark, Stegmann & Mandl, 2002).

In Abhängigkeit vom Strukturierungsgrad, insbesondere mit der Integration nicht-linearer Strukturelemente, bestehen für das Lernen mit computerbasierten Lernumgebungen jedoch auch gewisse Nachteile (siehe Kap. 2.2.1). Zusätzliche Orientierungs- und Kontrollanforderungen bergen die Gefahr der kognitiven Überlastung und Desorientierung und begünstigen den Einsatz ungünstiger Nutzungsstrategien. Das gilt vor allem für Lernende mit wenig Vorwissen (vgl. Gay, 1986; Gall & Hannafin, 1994). Bezogen auf das Lernen mit Lösungsbeispielen in einer computerbasierten Lernumgebung können strategische Nutzungsdefizite zu einer oberflächlichen Beispielelaboration und damit zu einer wenig lernwirksamen Auseinandersetzung mit dieser Lernform führen (Gerjets et al., 2003). Gerjets et al. (2005), die den Einsatz beispielbasierten Lernens in einer hypermedialen Lernumgebung zur Kombinatorik erprobt haben, konnten vor kurzem zeigen, dass eine Verringerung der Beispiellanzahl und die Implementation spezifischer Verarbeitungsprompts im Hinblick auf Vor- und Nachteile des Lernens in hypermedialen Systemen erfolgversprechend ist und lernwirksame Beispielelaboration fördert. Andere instruktionale Maßnahmen, wie eine Linearisierung des Lernmaterials oder die Präsentation unvollständiger Lösungsbeispiele waren weniger wirksam.

Dass sich nicht-linear strukturierte Lernumgebungen zur Förderung des Wissenserwerbs aus Beispielen grundsätzlich eignen, kann spätestens seit dem Einsatz von *NetBite* (z. B. Stark, Bürg & Mandl, 2002; Stark, Stegmann & Mandl, 2002) als erwiesen gelten (vgl. Gerjets, Scheiter & Tack, 2003). Am Beispiel von *NetBite* werden im nächsten Kapitel die Umsetzung von Prinzipien beispielbasierten Lernens in einer computerbasierten Lernumgebung eingehender expliziert.

2.2.3 Beispiel: Die Lernumgebung NetBite

Vor dem Hintergrund ungünstiger instruktorischer Rahmenbedingungen und knapper Ressourcen in der Lehre wurde am Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie an der Ludwigs-Maximilians-Universität München eine Methodenreform durchgeführt. In diesem Rahmen wurde u. a. eine

computer- bzw. netzbasierte Lernumgebung zu Statistik und empirischen Forschungsmethoden, *NetBite* implementiert, um eine möglichst ökonomische aber dennoch intensive vorlesungsbegleitende Betreuung der Studenten zu gewährleisten. Außerdem sollte *NetBite* einen hohen Grad an Standardisierung ermöglichen und damit die Qualitätssicherung erleichtern.

Im Folgenden werden die allgemeinen und spezifischen Ziele von *NetBite*, die Konzeption von *NetBite* und die wichtigsten Evaluationsbefunde überblicksartig wiedergegeben. Abschließend werden ausgewählte Ergebnisse zum Einfluss unterschiedlicher Lernvoraussetzungen auf den Lernprozess und den Lernerfolg dargestellt.

Allgemeine und spezifische Ziele von *NetBite*

Übergeordnetes Ziel von *NetBite* ist die Unterstützung des Erwerbs *anwendbaren Wissens* im Bereich empirischer Forschungsmethoden und Statistik. Dieses Ziel beinhaltet auch die Überwindung verschiedener statistischer Fehlkonzepte, die bei den Studenten festgestellt werden konnten (Stark, 2001).

Durch die virtuelle Lernumgebung sollten zudem positive Effekte im Hinblick auf wichtige *Bedingungsfaktoren* des Erwerbs anwendbaren Wissens erzielt werden; explizit angestrebt wurde die Reduktion methodenbezogener Angst und auch der Angst vor den Methodenklausuren. Zudem wurden positive motivationale Effekte erwartet.

Ein weiteres Ziel von *NetBite* stellt die Förderung domänenübergreifender Kompetenzen dar, die nicht Teil der Konzeption anwendbaren Wissens im engeren Sinne sind: Kompetenzen zum selbstgesteuerten Lernen, einschließlich metakognitiver Kompetenzen.

Das vordringlichste Ziel schließlich war pragmatischer Art: Die Studenten sollten sich mit Hilfe von *NetBite* systematisch auf die Klausuren vorbereiten können. Außerdem war geplant, die Studenten über *NetBite* bei spezifischen Anforderungen, wie der Erstellung einer Forschungsarbeit, tutoriell zu betreuen.

Konzeption von *NetBite*

Bei der Konzeption der virtuellen Lernumgebung kamen eine Reihe von Instruktionstheorien und Konzepten unterschiedlicher Provenienz zum Tragen. Situierete Designprinzipien, z. B. narratives Format (Cognition and Technology Group at Vanderbilt, 1997) multiple Perspektiven (Spiro, Feltovich, Jacobson & Coulson, 1991), und am kognitiven Paradigma orientierte theoretische Überlegungen, z. B. zur Vermeidung kognitiver Überlastung (vgl. Sweller et al., 1998) wurden ebenso nutzbar gemacht wie unterschiedliche Motivationskonzepte, z. B. Selbstwirksamkeit (Bandura, 1986; Keller & Suzuki, 1988) oder Interesse (Krapp, 1992; 2001).

Den instruktionalen Kern von *NetBite* bildet jedoch das Lernen mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen: Im Zentrum der Lernumgebung stehen zwei sehr detaillierte und komplexe Lösungsbeispiele, die – beginnend mit einer authentischen Problemstellung – Schritt für Schritt den Prozess der Anwendung (quantitativer) Methoden empirischer Forschung im Detail veranschaulichen (Bürg, 2002; Stark & Mandl, 2001). Das erste Beispiel beginnt mit einem Forschungsproblem, bei dem ein computerbasiertes Lernprogramm für den Biologieunterricht an Gymnasien von einem Pädagogen evaluiert werden soll (*narratives Format*). Das zweite Beispiel ist inhaltlich eine Fortsetzung des ersten. Die Anwendung zentraler Konzepte, Prinzipien und Verfahren wird somit im Kontext einer konkreten und authentischen Problemstellung dargestellt. Dadurch soll zum einen aufgezeigt werden, wofür man diese Konzepte etc. in der beruflichen Praxis braucht. Zum anderen werden auf diese Weise Zusammenhänge aufgezeigt, die bei einer künstlich-isolierten Präsentation einzelner, systematisch aufeinander aufbauender Inhalte, wie sie in der traditionellen Methodenausbildung die Regel ist, kaum zu vermitteln sind. Die Lösungsbeispiele stellen somit ein komplexes Modell empirischer Forschung dar (zur Struktur der Lösungsbeispiele siehe Stark, Flender & Mandl, 2001), das den Aufbau von relevanten kognitiven Schemata unterstützen soll.

In Anlehnung an Renkl (2001, 2002) wurden außerdem *instruktionale Erklärungen* in die Beispiele integriert, die von den Lernenden in unterschiedlichen Vertiefungsgraden abgerufen werden können (adaptiver und optionaler Präsentationsmodus).

Effektivität von *NetBite*

Im Rahmen verschiedener Feld- und Laborstudien (Stegmann, 2002; Stark & Mandl, 2001; Stark, Bürg & Mandl, 2002) erwies sich *NetBite* als effektiv (insgesamt Effekte mittlerer Größe). Über die Nachhaltigkeit der erzielten Effekte (vgl. Kruppa, Mandl & Hense, 2002) konnten auf der Basis der bisherigen Studien jedoch noch keine gesicherten Aussagen gemacht werden. Zudem mussten die Autoren von *NetBite* einräumen, „dass die bislang mit *NetBite* erzielten Effekte insgesamt hinter den Erwartungen der Untersucher zurückblieben“ (Stark, persönliche Mitteilung).

Effekte zusätzlich implementierter instruktionaler Maßnahmen

Um die Qualität von *NetBite* zu verbessern, wurden verschiedene instruktionale Maßnahmen implementiert, unvollständige Lösungsschritte und Feedback-Leitfragen (Bürg, 2002; Stark & Mandl, 2001), modifizierte Lücken und Verständnisfragen (Stark, Flender & Mandl, 2001) und Maßnahmen zur inhaltlichen und zeitlichen Strukturierung der Lernumgebung (Stark, Bürg & Mandl, 2002), mit denen die Komplexität von *NetBite* reduziert werden sollte. Keine dieser Maßnahmen zahlte sich aus. Zwar konnte der Erwerb anwendbaren Wissens mit *NetBite* insgesamt gefördert werden, u. a. ließen aber die für verschiedene Komponenten der Lernumgebung registrierten Bearbeitungszeiten erkennen, dass das Potenzial von *NetBite* von den meisten Lernenden bei weitem nicht ausgeschöpft wurde. Die mit großem Aufwand implementierten, zum Teil sehr ausführlichen instruktionalen Hilfen wurden nicht hinreichend genutzt, sondern trugen anscheinend eher zu einem Anstieg der kognitiven Belastung bei.

Stark interpretiert diese Befundlage folgendermaßen (Stark, Bürg & Mandl, 2002):

„Die wenig lernwirksame Auseinandersetzung der Studierenden mit den zusätzlich implementierten Maßnahmen verweist auf gravierende Defizite im selbstgesteuerten Lernen, die mit metakognitiven Defiziten und auch mit mangelnder Anstrengungsbereitschaft kombiniert sind. Diese Interpretation der teilweise unerwarteten Evaluationsbefunde konnte durch verschiedene qualitative Daten zur Akzeptanz der Lernumgebung und zum Lernverhalten gestützt werden.“ (S.9)

Einfluss verschiedener Lernvoraussetzungen

Als die wichtigsten Prädiktoren für die Lernleistung beim Bearbeiten von *NetBite* erwiesen sich das Interesse und die intrinsische Motivation der Lernenden sowie das methodenspezifische Vorwissen. Dies zeigte sich sowohl im Feld als auch im Labor (Stark, 2001; Stark & Mandl, 2005).

Auf der Basis kognitiver, motivationaler sowie emotionaler Eingangsvoraussetzungen und damit assoziierter Merkmale wurden auf clusteranalytischem Wege vier homogene Untergruppen identifiziert, die sich in verschiedenen Prozessvariablen unterschieden, die während der Lernphase erhoben wurden (Stark & Mandl, 2002). Des Weiteren zeigten sich z. T. deutliche Unterschiede in der Lernleistung und in abhängigen Motivationsvariablen. Hervorzuheben ist dabei vor allem die Gruppe der *Vorwissensschwachen*, die sich aus Lernenden mit wenig Vorwissen bei ansonsten eher günstigen Lernvoraussetzungen (viel Computererfahrung, eher positives Selbstkonzept, leicht intrinsisch motiviert, wenig Angst und kaum negative Einstellungen) zusammensetzt. Gerade die *Vorwissensschwachen*, die wahrscheinlich von einer zeitintensiveren Auseinandersetzung mit dem Lösungsbeispiel profitiert hätten, beendeten am schnellsten die Lernphase. Sie schnitten dem entsprechend von allen Gruppen im Nachtest am schlechtesten ab – ein Ergebnis, das sich in der subjektiven Leistungseinschätzung dieser Gruppen kaum widerspiegelte. Bei den *Vorwissensschwachen* ließ sich zwischen objektiver Leistung und subjektivem

Lernerfolg (bei gleichzeitig relativ hohen Akzeptanz- und Motivationswerten) die bei weitem deutlichste Diskrepanz feststellen. Insgesamt weisen die Daten also darauf hin, dass die *Vorwissensschwachen* besondere Schwierigkeiten bei der Einschätzung ihres Lernfortschritts bzw. ihres Wissensstands hatten – ein Umstand, der wiederum auf gravierende metakognitive Defizite schließen lässt.

Insgesamt zeigte die Analyse der Lernvoraussetzungen, dass das Lerngeschehen (selbst unter experimentellen Bedingungen) in einer komplexen Lernumgebung sowohl in quantitativer als auch in qualitativer Hinsicht in hohem Maße von bestimmten Merkmals-Konstellationen der Lernenden beeinflusst wird (vgl. Hartley & Bendixen, 2001).

3 Konzeption der computerbasierten Lernumgebung *Koralle*

3.1 Zielgruppe und Lernsituation

Die computerbasierte Lernumgebung *Koralle* ist als Baustein der Methodenausbildung für Pädagogikstudenten an der Ludwig-Maximilians-Universität München konzipiert. Bezüglich der Lehr-Lernziele und Lernvoraussetzungen ist *Koralle* daher primär auf eine Zielgruppe zugeschnitten, die im Hinblick auf das Statistiklernen eher ungünstige kognitive, motivationale und metakognitive Merkmale aufweist.

So ergab eine im Rahmen der Methodenvorlesung durchgeführte Fragebogenstudie, dass die befragten Pädagogikstudenten insgesamt wenig intrinsisch motiviert waren, sich mit empirischen Forschungsmethoden zu beschäftigen. Auch das themenspezifische Interesse der Lernenden war eher schwach ausgeprägt. Es dominierte eindeutig extrinsische Motivation: Gelernt wurde von vielen Studenten primär, weil Leistungsnachweise zu erbringen waren, um das Studium fortsetzen zu können, und nicht, weil die Beschäftigung mit empirischen Forschungsmethoden als anregend bzw. die Inhalte der Vorlesung als interessant oder gar bereichernd erlebt wurden. Ganz allgemein scheint es um die Motivationslage von Studenten der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften eher schlecht bestellt, solange es um die Beschäftigung mit statistischen Inhalten geht (vgl. Kap. 2.1.2). Bei Abel et al. (1999) gaben beispielsweise über 65 Prozent der befragten Psychologiestudenten an, dass sie sich überhaupt nicht für empirische Forschungsmethoden und Statistik interessieren.

In Kapitel 2.1.1 wurde ausführlich über die kognitiven Schwierigkeiten berichtet, die der Umgang mit Statistik bereiten kann. Studenten der Sozialwissenschaften scheinen diesbezüglich allerdings mit besonders ungünstigen Lernvoraussetzungen aufzuwarten. Die Annahme ist naheliegend, dass es sich hier um das Resultat von (Selbst-)Selektionsprozessen handelt

(Schulmeister, 1983). Viele Studenten sozialwissenschaftlicher Disziplinen gehen davon aus, mit dem gewählten Studienfach endlich einen "mathematikfreien Raum" betreten zu haben (Gruber & Renkl, 1996) – eine Vermutung, die in der Regel bereits in den ersten Semestern falsifiziert werden muss. In der Untersuchung von Abel et al. (1999) gaben immerhin über 60 Prozent der befragten Psychologiestudenten an, bei der Wahl ihres Studiums nicht gedacht zu haben, dass sie sich mit empirischen Forschungsmethoden und Statistik auseinandersetzen müssten.

Kognitive Defizite, wie z. B. mangelndes Bereichswissen, können, wie die Metakognitionsforschung zeigt (vgl. Kap. 2.1.3), teilweise durch metakognitive Kompetenzen kompensiert werden. Problematischerweise scheinen diese bei den Studenten meist ebenfalls nicht in genügendem Maße vorhanden zu sein. Die Befunde der *NetBite*-Evaluation deuten sogar eher auf gravierende Mängel im selbstgesteuerten Lernen hin. Umfangreiche Forschungsbemühungen zur Frage der instruktionalen Unterstützung metakognitiver Prozesse z. B. im Rahmen von Promptingstudien (vgl. Kap. 2.1.3) weisen jedoch darauf hin, dass Probleme im metakognitiven Denken, und allgemeiner, im selbstgesteuerten Lernen ubiquitärer Natur sind.

3.2 Technische und ökonomische Rahmenbedingungen

Angeichts knapper Ressourcen in der Lehre und ungünstiger technischer Rahmenbedingungen (z. B. Raumnot, wenige PC-Arbeitsplätze) ist die Lernumgebung so konzipiert, dass sie von jedem PC mit Internetzugang und einem der gängigen Browser (z. B. InternetExplorer) aus erreicht werden kann. Mittlerweile lässt sich *Koralle* – in einer erweiterten Version – über die Adresse <http://web.swi.uni-saarland.de/visu/root-typo3/index.php> online bearbeiten. Außerdem steht die komplette Lernumgebung auf der Seite: <http://www.uni-saarland.de/fak5/stark/index.html> zum Download bereit. *Koralle* kann vorlesungs- bzw. literaturbegleitend bearbeitet werden. Da sie grundsätzlich möglichst viele Lernende erreichen und auf unterschiedliche Lernsituationen passen soll, ist

Koralle auch für Lernende ohne Vorkenntnisse auf dem Gebiet der Korrelationsrechnung geeignet. Besondere Mathematik- oder Computerkenntnisse werden ebenfalls nicht benötigt.

3.3 Lehr-Lerninhalte

3.3.1 Der Korrelationsbegriff

Koralle ist eine Lernumgebung zum Begriff der Korrelation nach Pearson und dessen deskriptiver Verwendung. Sie gliedert sich in drei abgeschlossene Themenbereiche bzw. Kapitel: *Linearität*, *Heterogene Untergruppen* und *Ausreißer*. In einer erweiterten Version besitzt die Lernumgebung noch zwei zusätzliche Kapitel, *Einschränkung des Wertebereichs* und *Korrelation und Kausalität*, die sich eher an fortgeschrittene Anwender richten. Aus Gründen der experimentellen Durchführbarkeit wurden diese beiden Themenbereiche jedoch nicht erprobt und sind auch nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Mit der Beschränkung auf ein überschaubares Inhaltsgebiet wurde angestrebt, *Koralle* weniger komplex zu gestalten und die Lernenden nicht zu überfordern. Gleichzeitig wurde mit dieser Schwerpunktsetzung ein Inhaltsgebiet erfasst, das den Studierenden erfahrungsgemäß große Schwierigkeiten bereitet: Das Verständnis des Korrelationsbegriffs und die Interpretation von Korrelationskoeffizienten. Neben diesbezüglichen eher anekdotischen Erfahrungen in Vorlesungen, vorlesungsbegleitenden Tutorien und schriftlichen Forschungsarbeiten ergab eine Auswertung der Methodenklausur vom WS 2001/2002 am Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie in München, dass die Aufgaben zur Korrelation insgesamt am schlechtesten bearbeitet wurden. Außerdem zeigte sich, dass die Leistung im Klausurteil *Korrelationsrechnung* als Prädiktor für die Gesamtleistung verwendet werden kann. Doch nicht nur Studenten, auch Wissenschaftler und Lehrbuchautoren scheinen mit dem Verständnis des Korrelationsbegriffs Schwierigkeiten zu haben, wie Hawkins et al. (1992, S. 54) kritisieren (vgl. Renkl,

1993). Rummel (1976) beklagt, „obwohl er viel verwendet wird, wird der Korrelationskoeffizient weder von Schülern noch Lehrern hinreichend verstanden und noch nicht einmal von Anwendern in der Spitzenforschung“ (S.1). Ähnlich argumentiert Falk (1997), die „einige Verwirrung in der Literatur über die Interpretation von r “ (S. 1) ausmacht und anhand von Textbuchauszügen belegt. Beispielsweise wird aus einer entwicklungspsychologischen Arbeit zitiert (Bloom, 1964), in der behauptet wird, dass Kinder im Alter von vier Jahren ca. 50 Prozent ihrer adulten Intelligenz besitzen. Diese Aussage stützt sich auf eine Längsschnittstudie, in der eine Korrelation von $r = .71$ ($r^2 = .50$) zwischen den IQ-Werten vierjähriger und 17-jähriger Probanden errechnet wurde. Die Interpretation dieses Befunds im Sinne obiger Behauptung ist jedoch falsch. Ihr liegt das Fehlkonzept zugrunde, dass die Höhe des Korrelationskoeffizienten darüber Auskunft gibt, inwieweit sich die Werte der gemessenen Variablen der Identität annähern. Weitverbreitete Probleme, bei der Anwendung korrelativer Techniken konstatiert auch Weldon (2000, S. 1), der deshalb u. a. vorschlägt, den Korrelationskoeffizienten zu Lehrzwecken definitorisch über z-standardisierte Variablen einzuführen.

Neben der gewählten Eingrenzung des Lernstoffs auf das Thema *Korrelation nach Pearson* beschränkt sich *Koralle* außerdem auf Anwendungen dieses Maßes im Kontext deskriptiver Statistik. Schon lange wird von verschiedenen Autoren die Überwertigkeit bestimmter inferenzstatistischer Ansätze in Forschung und Lehre und die daraus resultierende unkritische Anwendung des Signifikanztests kritisiert (z. B. Carver, 1978; Cohen, 1962; Gigerenzer, 1993; Gigerenzer & Krauss, 2001). In der instruktionalen Praxis wird deskriptive Statistik dementsprechend oft nur stiefmütterlich behandelt, um „schnell zum Kern des Unterrichts, nämlich der Inferenzstatistik überzugehen“ wie Hawkins, Jolliffe und Glickman (1992, S.6) feststellen. Sie kritisieren weiter, dass „die wenige Zeit, die der deskriptiven Statistik gewidmet ist, vor allem auf die mechanische Seite der Kunst und das Berechnen von repräsentativen Maßen fokussiert...“. Koopmans (1982) beschreibt die Folgen einer solchen Vorgehensweise:

„Die eskalatorische Zunahme an Schwierigkeit [von deskriptiver Statistik zu Inferenzstatistik] kann für die Moral des Studierenden katastrophal sein. Ein Lehrprogramm, das sie [die Studierenden] anfänglich gut in der Hand haben, weil es hauptsächlich aus trivialem Erstellen von Graphiken und gedankenlosem Zahlenverarbeiten besteht, wendet sich plötzlich gegen sie, zuerst mit der Einführung der Wahrscheinlichkeitsrechnung und dann mit Inferenzstatistik.“ (Koopmans, 1982, S.6)

Nicht zuletzt jedoch mit dem Aufkommen anspruchsvollerer Verfahren an der Grenze zwischen beschreibenden und hypothesenprüfenden Methoden wie der exploratorischen Datenanalyse (EDA) wird der deskriptiven Statistik auch im akademischen Kontext inzwischen wieder mehr Aufmerksamkeit zuteil (vgl. Hawkins et al., 1992). Vor diesem Hintergrund empfehlen namhafte Autoren deskriptiven Verfahren im Unterricht einen eigenständigen Platz einzuräumen und diese nicht gleich im Zusammenhang mit Wahrscheinlichkeitstheorie oder Inferenzstatistik zu lehren (z. B. Garfield, 1988, 1995). Die Konzeption der Lernumgebung *Koralle* folgt dieser Empfehlung. Ihre Nutzer sollen u. a. lernen, vor der unkritischen Interpretation von Korrelationskoeffizienten die zugrunde liegende Datenbasis insbesondere anhand von Streudiagrammen sorgfältig zu prüfen. Dazu gehört zunächst Wissen über die grundlegenden Anwendungsbedingungen dieses Maßes (*Linearität*, Kapitel 1 in *Koralle*) und Wissen über diejenigen Faktoren (*Heterogene Untergruppen*, Kapitel 2; *Ausreißer*, Kapitel 3), die es beeinflussen können. Beim Aufbau dieses Wissens ist aus instruktionaler Sicht allerdings besonderes darauf zu achten, dass der Erwerb von Fehlkonzepten vermieden wird und bestehende Fehlkonzepte revidiert werden können.

Im folgenden Absatz werden daher zunächst gängige Fehlkonzepte in Bezug auf Korrelation beschrieben. In Kapitel 3.4 werden dann instruktionale Mittel vorgestellt, die sich eignen, der Existenz von Fehlkonzepten entgegen zu wirken.

3.3.2 Fehlkonzepte in Bezug auf den Korrelationsbegriff

Das best dokumentierte Fehlkonzept in Bezug auf den Korrelationsbegriff besteht in der Vermischung von Korrelation und Kausalität (Hawkins et al., 1992; Garfield, 1995; Morris, 2001; Kahneman et al., 1982). In vielen Lehrbüchern zur Statistik wird darauf hingewiesen (z. B. Bortz, 2005) und selbst in der Forschung scheint dieses Problem nicht ausreichend durchdacht zu sein, wie Renkl (1993) zu bedenken gibt. Die im Rahmen dieser Untersuchung verwendete Version von *Koralle* widmet sich diesem Thema jedoch nicht und das aus verschiedenen Gründen: Erstens ist es seiner wissenschaftstheoretischen Komplexität wegen erst für fortgeschrittene und in empirischen Forschungsmethoden erfahrenere Anwender geeignet. Zweitens setzt es inferenzstatistische Kenntnisse voraus oder sollte sinnvoller Weise im Zusammenhang mit Inferenzstatistik unterrichtet werden. Drittens wird damit nicht ein eng umschreibbares Fehlkonzept im eigentlichen Sinne markiert, sondern eher eine komplexe Problematik, der eine ganze Reihe von z. T. nicht-trivialen Fehlkonzepten und Irrtümern statistischer, wissenschaftstheoretischer und philosophischer Natur zugrunde liegen können.

Über grundlegendere Fehlkonzepte berichtet Morris (2001). Demnach haben Studierende vor allem Probleme im Umgang mit negativen Korrelationskoeffizienten und in diesem Zusammenhang mit der Einschätzung der Stärke von Korrelationen. Dabei besteht zum einen das Fehlkonzept, dass negative Korrelationen keinen Zusammenhang zwischen zwei Variablen anzeigen (im folgenden *NegKorr-FK* genannt), zum anderen schließen Studierende irrtümlich vom Vorzeichen des Korrelationskoeffizienten auf die Stärke der Korrelation (*Stärke-FK*). Entweder werden negative Korrelationen grundsätzlich als höher eingeschätzt als positive oder umgekehrt. Generell bestehen allerdings auch bei fortgeschrittenen Anwendern Probleme bei der Einschätzung der Stärke einer Korrelation insbesondere dann, wenn diese einem Streuungsdiagramm entnommen werden muss (Meyer & Shinar, 1992). Bestimmte visuelle Eigenschaften von Streuungsdiagrammen scheinen Schätzfehler allerdings noch zu begünstigen. Konold (2002) hat deshalb vorgeschlagen, Streuungsdiagramme im

Unterricht durch sogenannte Tinkerplots zu ersetzen, die günstigere visuelle Merkmale haben.

Grundlegende Missverständnisse bei der Interpretation des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten dokumentiert auch Matusita (1999). Demnach schließen Studenten von hohen (niedrigen) Korrelationen auf das Bestehen (Nicht-Bestehen) eines linearen Zusammenhangs und vom Vorliegen einer Korrelation nahe Null darauf, dass kein oder nur ein schwacher funktionaler Zusammenhang, welcher Art auch immer, besteht. Hier wird der Korrelationskoeffizient also als Indikator für die Art des Zusammenhangs betrachtet (was, abgesehen vom Fall $r = 1$, natürlich falsch ist): Je höher die Korrelation, desto näher ist die Beziehung zwischen den Variablen an der Linearität (*Nähe-an-Linearität-FK*). Ein ähnliches Fehlkonzept demonstriert das oben zitierte Beispiel von Falk (1997) mit dem Unterschied, dass hier die Höhe der Korrelation als ein Indikator für das näherungsweise Bestehen der Relation der Identität missverstanden wird (*Nähe-an-Identität-FK*).

Stark stieß im Zusammenhang mit einer Studie zum wissenschaftlichen Argumentieren (Stark, 2004c) auf folgendes Fehlkonzept: Studierende, die an der Studie teilnahmen, verstanden nicht, dass eine Korrelation eine Relation von 2 Variablen beschreibt. Dementsprechend sprachen sie mit Bezug auf eine Person, dass Angst mit Schulleistung korreliert. In diesem Zusammenhang war ihnen auch nicht klar, dass die Streuungen der beiden Variablen die Stärke der Korrelation beeinflussen. Dieses Beispiel demonstriert, dass die Probanden in grundlegender Weise den Begriff der Variable (*Var-FK*) und den Begriff der Streuung (*Streuung-FK*) nicht verstanden.

3.4 Allgemeine Lehr/Lernziele

Übergeordnetes Ziel von *Koralle* ist die Unterstützung des Erwerbs von angemessenen Schemata und mentalen Modellen im Hinblick auf den Korrelationsbegriff und damit auch auf die Überwindung entsprechender Fehlkonzepte. Das schließt mit ein, dass das erworbene Wissen nicht an den

Kontext der Problemstellungen, die *Koralle* vorgibt, gebunden bleibt, sondern auch auf (ferne) Problembereiche angewandt werden können soll. Zudem sollen positive motivationale Effekte erzielt werden.

Darüber hinaus ist die Förderung domänenübergreifender metakognitiver Fähigkeiten Ziel von *Koralle*. Lernende mit schwachen metakognitiven Kompetenzen sollen ebenfalls vom Umgang mit der Lernumgebung profitieren. Von einer spezifischen Maßnahme zur metakognitiven Unterstützung (metakognitives Prompting) werden zusätzliche kompensatorische Effekte im Hinblick auf metakognitive Defizite erwartet.

3.5 Designprinzipien und Gestaltungsmerkmale

Wie bei *NetBite* wurden auch bei *Koralle* Instruktionstheorien und Konzepte unterschiedlicher Herkunft angewendet: Situierete Designprinzipien (z.B. narratives Format, Kap. 2.2.3), am kognitiven Paradigma orientierte theoretische Überlegungen (z.B. zur Vermeidung kognitiver Überlastung, Kap. 2.1.1), unterschiedliche Motivationskonzepte (z.B. Interesse, Kap. 2.1.2) und das Konstrukt der Metakognition (Kap. 2.1.3). Den instruktionalen Kern von *Koralle* bildet jedoch das beispielbasierte Lernen. Dabei werden die verwendeten Lösungsbeispiele stufenweise mit Komplexität angereichert. Sie sind allerdings deutlich einfacher als die in *NetBite* eingesetzten. Insbesondere vorwissensschwächeren Lernenden soll dadurch der Einstieg ins beispielbasierte Lernen erleichtert werden.

Im Folgenden sollen die zentralen Gestaltungsmerkmale von *Koralle* einzeln dargestellt werden. Auf ihre theoretische Verortung wird aus Gründen der Lesbarkeit jeweils durch Angabe der entsprechenden Kapitel dieser Arbeit hingewiesen.

Gestaltungsmerkmal 1: Narratives Format, eingebettete Daten

Die in *Koralle* präsentierten Aufgaben und Daten sind in eine Rahmengeschichte eingebettet, bei der sich die Lernenden in der Rolle einer studentischen Hilfskraft

an einem wissenschaftlichen Projekt zum Thema „komplexes Problemlösen“ beteiligen und in diesem Rahmen Daten auswerten und interpretieren (Abb. 3.5.1). Diese Maßnahme dient in erster Linie der Motivationsförderung (siehe Kap. 2.2.3).

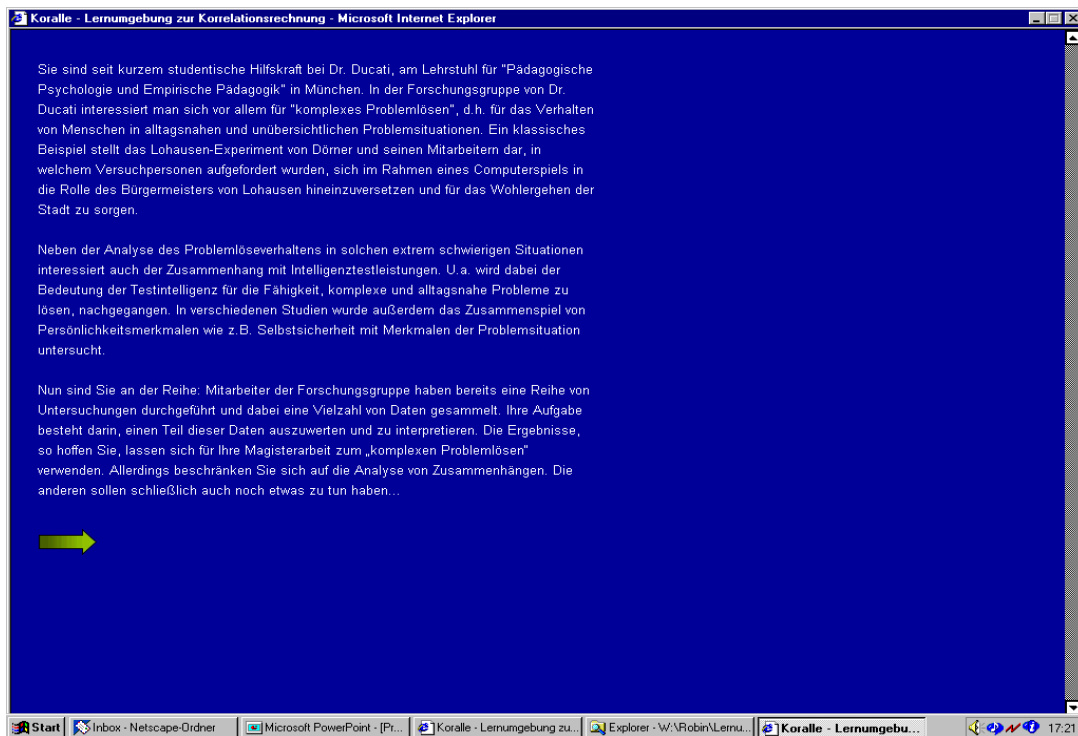


Abbildung 3.5.1: Beispiel für ein narratives Format.

Gestaltungsmerkmal 2: Authentische Problemstellungen und Aufgaben

Die Rahmengeschichte, in die sämtliche Aufgaben eingebettet sind, wurde möglichst *authentisch* gestaltet. Die Lernenden haben so die Möglichkeit, die gestellten Aufgaben in einer für sie *relevanten* Situation zu bearbeiten. Dementsprechend sind sämtliche Daten, die für Problemlösungen gebraucht werden, in diese Geschichte integriert (*eingebettete Daten*) (Abb. 3.5.2). Diese Maßnahme dient neben motivationalen Zielen dem Erwerb von anwendbarem Wissen.

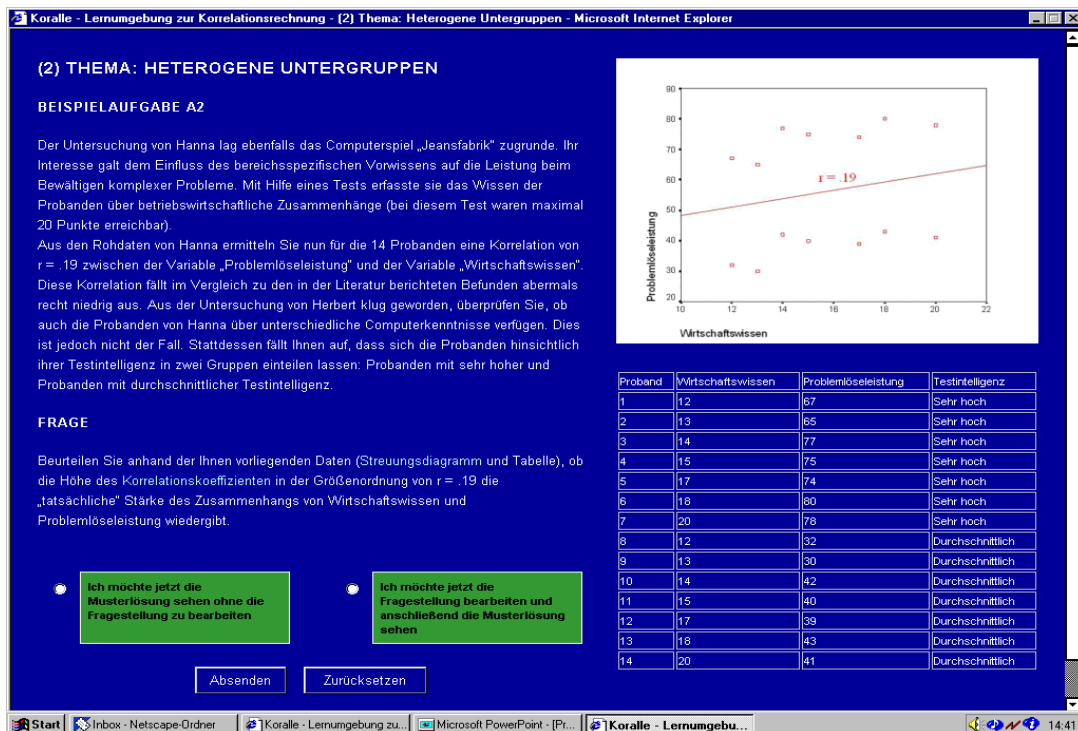


Abbildung 3.5.2: Beispiel für authentische Problemstellungen und Aufgaben.

Gestaltungsmerkmal 3: Ausgearbeitete Lösungsbeispiele

Das Lernen mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen hat sich als sehr wirkungsvolle Lernform erwiesen (siehe Kap. 2.2.2 und Kap. 2.2.3). Wissenslücken lassen sich damit effektiv kompensieren und Fehlkonzepte korrigieren. Wird eine Problemstellung in *Koralle* vom Lernenden zunächst in Form einer Problemlöseaufgabe bearbeitet, fungiert das Lösungsbeispiel zudem als *elaboriertes Feedback*. Innerhalb eines Lösungsbeispiels wiederum hat der Lernende die Möglichkeit, sich einzelne Lösungsschritte aufzeigen zu lassen, was einen sofortigen Ist-Soll-Vergleich ermöglicht (Abb. 3.5.3 bis Abb. 3.5.5). Die Demonstration von Lösungsschritten hat damit ebenfalls den Charakter einer Feedback-Maßnahme.

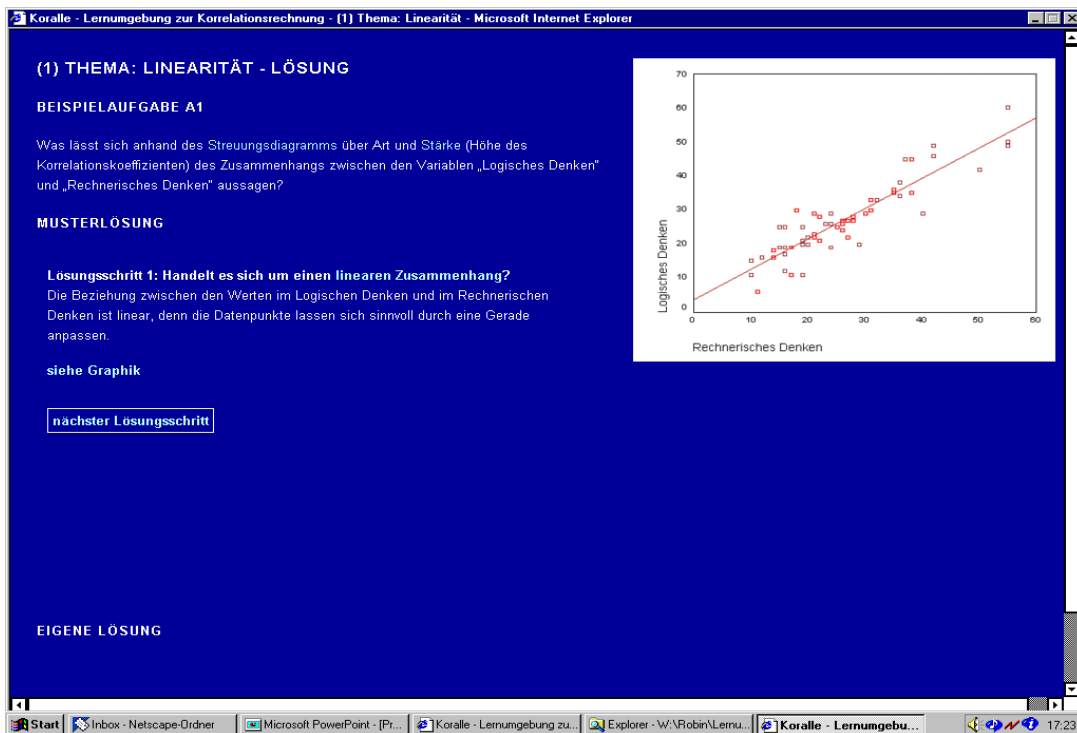


Abbildung 3.5.3: Beispiel für ein ausgearbeitetes Lösungsbeispiel.

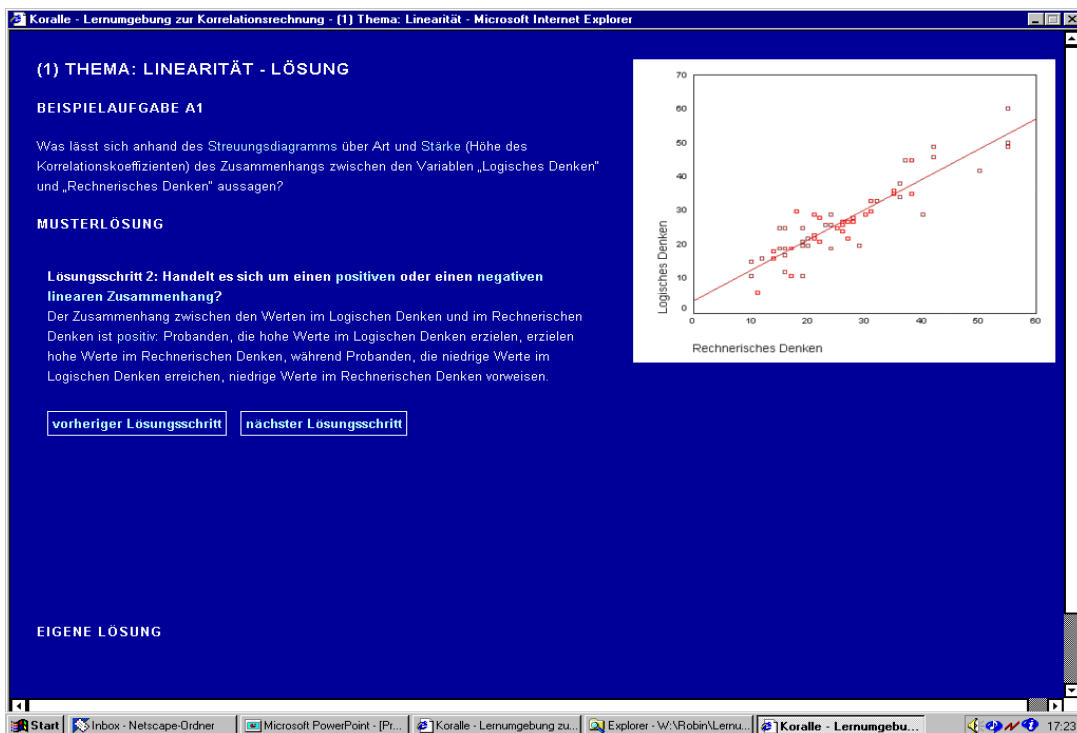


Abbildung 3.5.4: Beispiel für ein ausgearbeitetes Lösungsbeispiel.

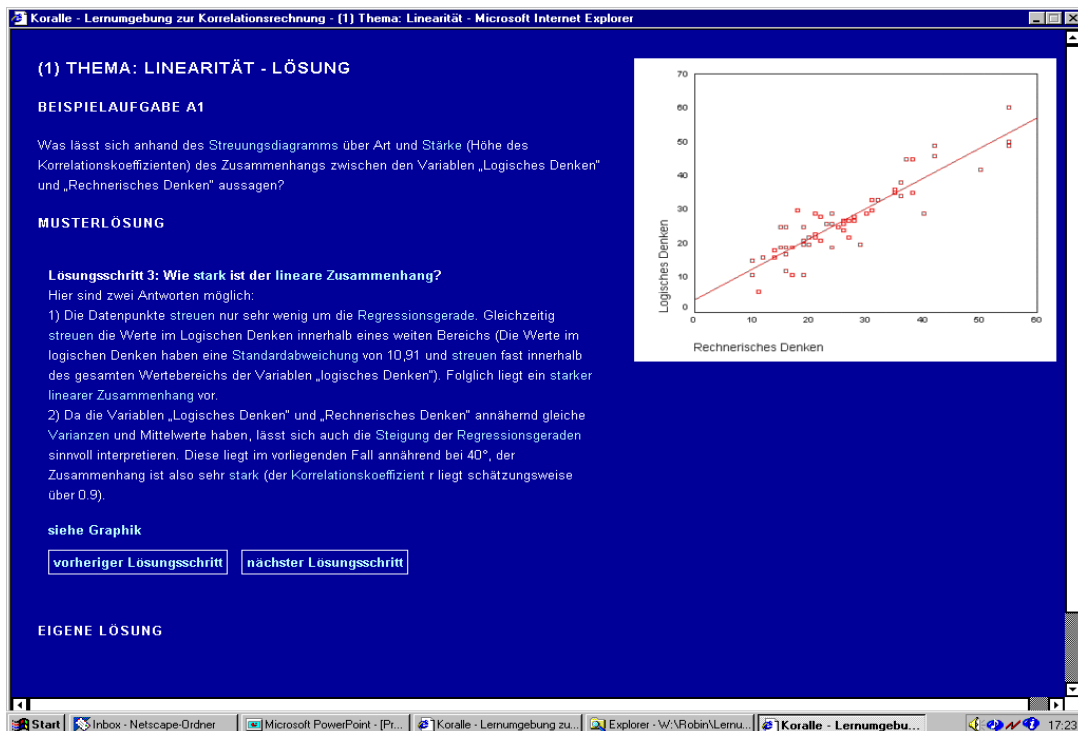


Abbildung 3.5.5: Beispiel für ein ausgearbeitetes Lösungsbeispiel.

Gestaltungsmerkmal 4: Scaffolding und Fading

Die in Koralle präsentierten Themenbereiche bzw. die in ihnen dargebotenen Problemstellungen steigen schrittweise in ihrer Komplexität an. Außerdem werden die Lernenden beim Bearbeiten von Problemlöseaufgaben durch Leitfragen unterstützt (*Scaffolding*), die allmählich ausgeblendet werden (*Fading*) (siehe Kap. 2.2.2.) (Abb. 3.5.6). Durch diese Maßnahmen werden vor allem Lernende mit geringem Vorwissen unterstützt. Überforderung und kognitiver Überlastung wird entgegengewirkt und gleichzeitig Motivation gefördert, indem sich Lernende als kompetent erleben können.

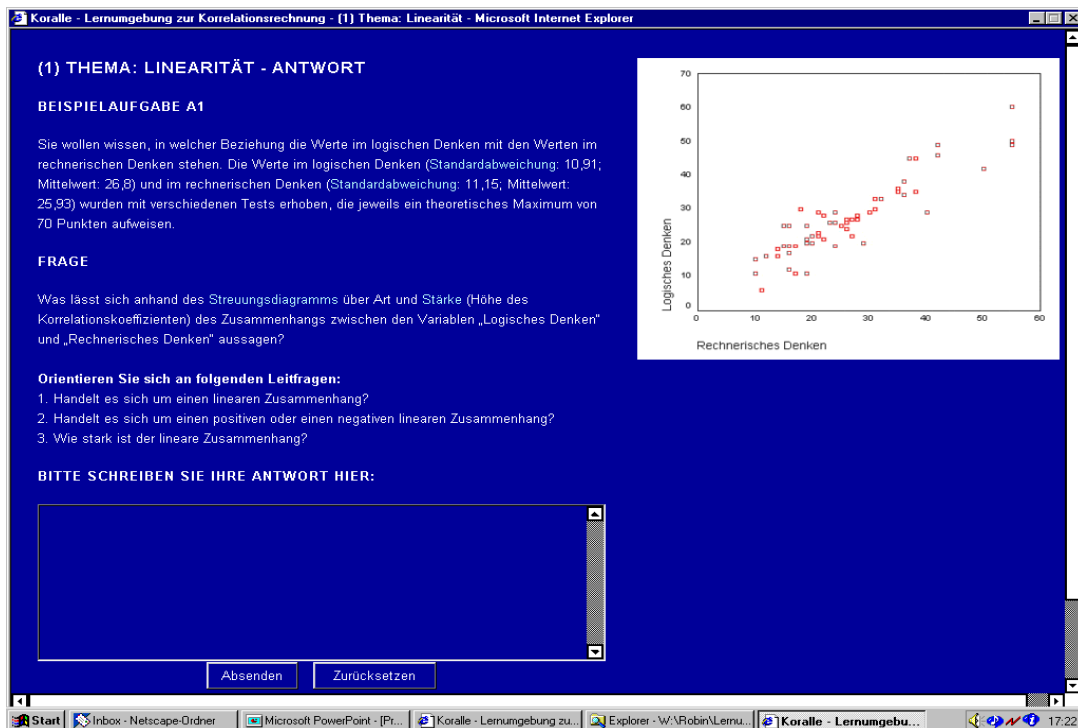


Abbildung 3.5.6: Beispiel für Scaffolding und Fading.

Gestaltungsmerkmal 5: Adaptivität

Innerhalb der vergleichsweise stark strukturierten Lernumgebung (etwa im Vergleich zu *NetBite* oder anderen Hypertext basierten Lernumgebungen) offeriert *Koralle* bestimmte Wahlmöglichkeiten, die je nach Vorwissensstand, Motivation u. a. unterschiedlich genutzt werden können: Zum einen haben Lernende die Wahl, eine Problemstellung sofort in Form eines ausgearbeiteten Lösungsbeispiels zu bearbeiten oder zunächst als Problemlöseaufgabe, nach deren Bearbeitung dann das Lösungsbeispiel als Musterlösung präsentiert wird (*unmittelbares Feedback*) (Abb. 3.5.7). Zum anderen können die Lernenden über das Ausmaß an benötigter Redundanz entscheiden, indem z. B. eine Aufgabe vom selben Aufgabentyp gewählt wird wie die gerade eben bearbeitete (Abb. 3.5.8). Damit die Lernenden ihre Entscheidung reflektiert treffen können, werden von der Lernumgebung entscheidungsrelevante Informationen z. B. darüber, in welcher Form die zu analysierenden Daten vorliegen, zur Verfügung gestellt.

Koralle - Lernumgebung zur Korrelationsrechnung - (1) Thema: Linearität - Microsoft Internet Explorer

(1) THEMA: LINEARITÄT

BEISPIELAUFGABE A1

Zunächst interessieren Sie sich für die Ergebnisse der Intelligenztestmessung. Sie wollen wissen, in welcher Beziehung die Werte im logischen Denken mit den Werten im rechnerischen Denken stehen. Die Werte im logischen Denken (Standardabweichung: 10,91; Mittelwert: 26,8) und im rechnerischen Denken (Standardabweichung: 11,15; Mittelwert: 25,93) wurden mit verschiedenen Tests erhoben, die jeweils ein theoretisches Maximum von 70 Punkten aufweisen.


Um sich einen ersten Eindruck von den Daten zu verschaffen, stellen Sie die jeweiligen Ergebnisse in Form eines Streudiagramms dar.

FRAGE

Was lässt sich anhand des Streudiagramms über Art und Stärke (Höhe des Korrelationskoeffizienten) des Zusammenhangs zwischen den Variablen „Logisches Denken“ und „Rechnerisches Denken“ aussagen?

☐ Ich möchte jetzt die Musterlösung sehen ohne die Fragestellung zu bearbeiten
 ☐ Ich möchte jetzt die Fragestellung bearbeiten und anschließend die Musterlösung sehen

Absenden Zurücksetzen



Start Y:\ D:\ D:\MT D:\MT\Promo... Microsoft Pow... Koralle - Lerna... Koralle - Le... WEB.DE - Mo... 15:34

Abbildung 3.5.7: Beispiel für Adaptivität.

Koralle - Lernumgebung zur Korrelationsrechnung - Microsoft Internet Explorer

☐ Ich möchte zum Thema "Linearität" noch einmal ein ähnliches Beispiel
 anderer Text, gleiche Fragestellung, ähnliche Daten (Streudiagramm), gleicher Lösungsweg

☐ Ich möchte zum Thema "Linearität" ein anderes Beispiel
 anderer Text, gleiche Fragestellung, andere Daten (Streudiagramm), gleicher Lösungsweg

Absenden Zurücksetzen

Start Microsoft ... Microsoft ... Explorer ... Unbenan... Ausgabe1... Lösungsb... Explorer ... W Microsoft ... Koralle - L... Koralle ... 16:37

Abbildung 3.5.8: Beispiel für Adaptivität.

Für eine Integration adaptiver Elemente in *Koralle* spricht neben den oben berichteten ATI-Befunden zu *NetBite* vor allem, dass Lernende die Gelegenheit erhalten sollen, selbstgesteuertes Lernen einzuüben. Nebenbei wird durch die Anpassung an unterschiedliche Lernvoraussetzungen auch negativen motivationalen Effekten entgegen gesteuert.

Koralle stellt außerdem ein flexibel abrufbares Glossar zur Verfügung, das eine individuelle Kompensation von Wissenslücken ermöglicht und somit unterschiedliche Vorkenntnisse berücksichtigt. Vor allem Lernende mit geringem Vorwissen sollten von dieser Komponente profitieren.

Gestaltungsmerkmal 6: Visualisierungen

Koralle enthält Elemente des Lernens mit Visualisierungen. Zum einen stellen die verwendeten Streudiagramme Visualisierungen von Korrelation dar. Sie erlauben darüber hinaus ein gewisses Maß an *Interaktivität*. So lässt sich z. B. die Regressionsgerade wahlweise ein- oder ausblenden. Auf weitergehende interaktive Elemente wurde jedoch verzichtet, um kognitive Überlastung und andere unerwünschte Nebeneffekte zu vermeiden (siehe Kap. 2.2.1). Zum anderen wurden in das Glossar eine Reihe von statischen Visualisierungen eingebaut, bei deren Gestaltung Prinzipien der Theorie der kognitiven Belastung (z. B. *räumliche Kontiguität*) berücksichtigt wurden (Abb. 3.5.9). Auch Rechenoperationen wie das Berechnen des Korrelationskoeffizienten wurden visualisiert präsentiert (Abb. 3.5.10). Das Lernen mit Visualisierungen soll insbesondere den Erwerb mentaler Modelle fördern.

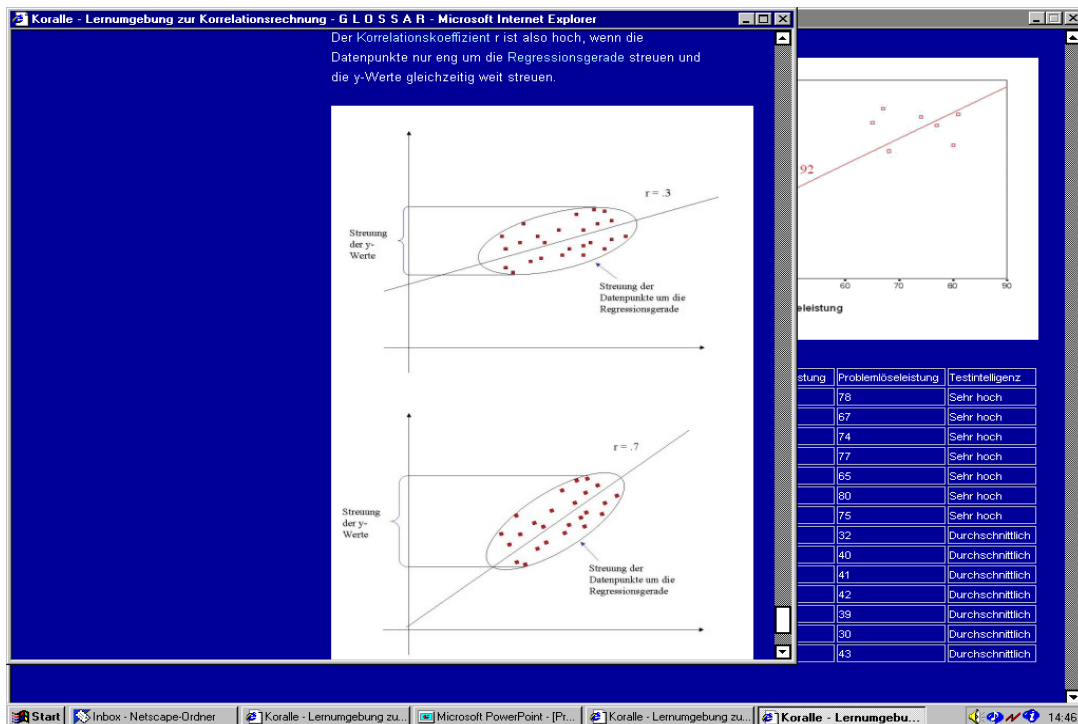


Abbildung 3.5.9: Beispiel für Visualisierungen (räumliche Kontiguität).

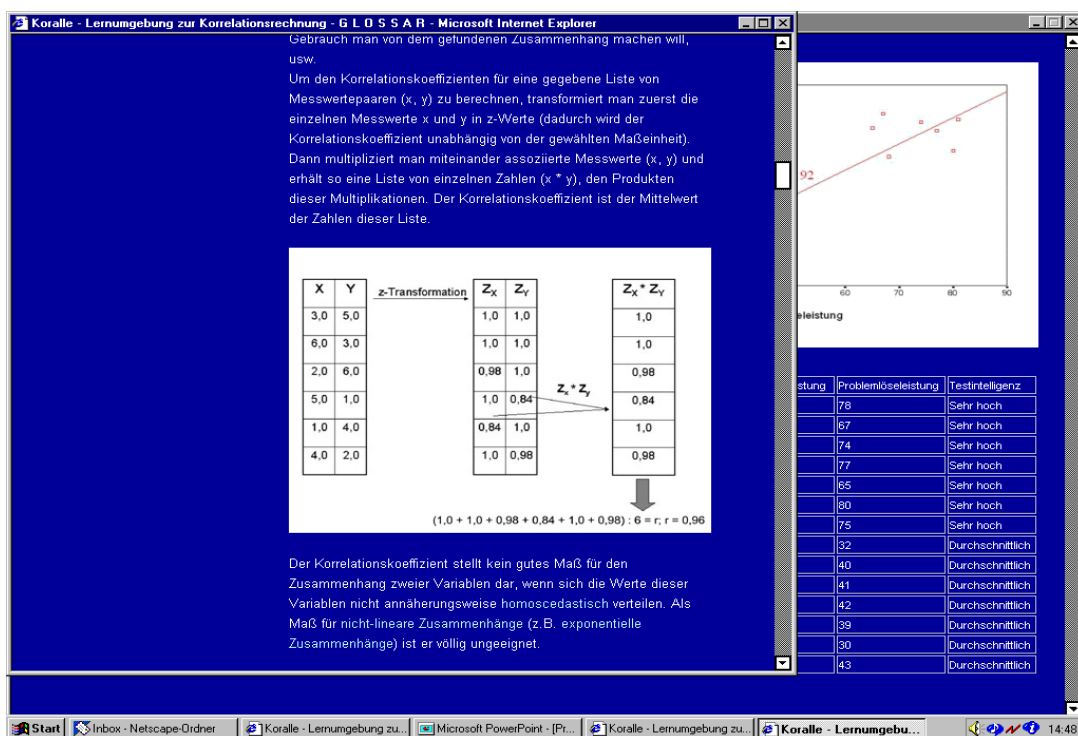


Abbildung 3.5.10: Beispiel für Visualisierungen (Berechnen des Korrelationskoeffizienten).

Gestaltungsmerkmal 7: Multiple Kontexte/Perspektiven

Jeder Themenbereich in Koralle enthält zwei Aufgabentypen und zu jedem Aufgabentyp gibt es zwei Aufgaben bzw. Lösungsbeispiele. Aufgaben vom selben Aufgabentyp unterscheiden sich lediglich hinsichtlich kontextueller Oberflächenmerkmale (narrative Einbettung, Untersuchungsperspektive, Präsentation der Daten), Aufgaben verschiedenen Aufgabentyps dagegen ähneln sich hinsichtlich kontextueller Merkmale, aber weichen in mindestens einem Strukturmerkmal voneinander ab (Datenstruktur, Lösungsweg, Lösung). Außerdem werden in den Lösungsbeispielen z. T. *multiple Lösungswege* aufgezeigt.

Durch das Bereitstellen multipler Kontexte bzw. durch die Induktion multipler Perspektiven soll vor allem der Erwerb von Fehlkzepten verhindert und die Revision bestehender Fehlkzepten gefördert werden. Multiple Perspektiven empfehlen sich als Remedium gegen Fehlkzepten und das Problem der Kontextgebundenheit des Wissens (Transferproblem) auch aus der Perspektive der kognitiven Psychologie (siehe Kap. 2.1.1.).

Gestaltungsmerkmal 8: Metakognitives Prompting

Um selbstgesteuertes Lernen und insbesondere metakognitive Kompetenz gezielt zu fördern bzw. um auch Lernende mit defizitären metakognitiven Fähigkeiten zu erreichen, wurde in *Koralle* eine Maßnahme zur metakognitiven Unterstützung implementiert. Aus ökonomischen Gründen, aber auch um unerwünschte Nebenwirkungen motivationaler oder kognitiver Art (kognitive Überlastung) zu vermeiden (siehe Kap. 2.2.1), wurde eine indirekte Maßnahme konzipiert, die möglichst einfach gestaltet ist und sich *natürlich* in den Lernprozess integrieren lässt. Vor dem Hintergrund des Erfolgs verschiedener Promptingstudien und der adaptiven Navigationsstruktur von *Koralle*, an deren Verzweigungen bestimmte Lernentscheidungen getroffen werden müssen, lag es nahe, einen Prompt einzubauen, der Lernende auffordert, diese Lernentscheidungen zu begründen. Begründungsprompts hatten sich bereits in anderen Studien als sehr effektiv erwiesen (siehe Kap. 2.2.1). Das „Timing“ der Prompts wurde derart gestaltet,

dass der Benutzer mit jeder Option, die ihm die Lernumgebung offeriert, den Satz „Bitte begründen Sie ihre Entscheidung“ zusammen mit einer Eingabemaske erhält, in der die Begründung per Tastatur einzugeben ist (Abb. 3.5.11 und Abb. 3.5.12).

(1) THEMA: LINEARITÄT

BEISPIELAUFGABE A1

Zunächst interessieren Sie sich für die Ergebnisse der Intelligenztestmessung. Sie wollen wissen, in welcher Beziehung die Werte im logischen Denken mit den Werten im rechnerischen Denken stehen. Die Werte im logischen Denken (Standardabweichung: 10,91; Mittelwert: 26,8) und im rechnerischen Denken (Standardabweichung: 11,15; Mittelwert: 25,93) wurden mit verschiedenen Tests erhoben, die jeweils ein theoretisches Maximum von 70 Punkten aufweisen. Um sich einen ersten Eindruck von den Daten zu verschaffen, stellen Sie die jeweiligen Ergebnisse in Form eines Streudiagramms dar.

FRAGE

Was lässt sich anhand des Streudiagramms über Art und Stärke (Höhe des Korrelationskoeffizienten) des Zusammenhangs zwischen den Variablen „Logisches Denken“ und „Rechnerisches Denken“ aussagen?

☐ Ich möchte jetzt die Musterlösung sehen ohne die Fragestellung zu bearbeiten

☐ Ich möchte jetzt die Fragestellung bearbeiten und anschließend die Musterlösung sehen

Bitte begründen Sie Ihre Entscheidung!

The scatter plot shows a positive correlation between 'Rechnerisches Denken' (X-axis, 0 to 60) and 'Logisches Denken' (Y-axis, 0 to 70). The data points are red squares, showing a clear upward trend from the bottom-left to the top-right of the plot area.

Abbildung 3.5.11: Beispiel für metakognitives Prompting.

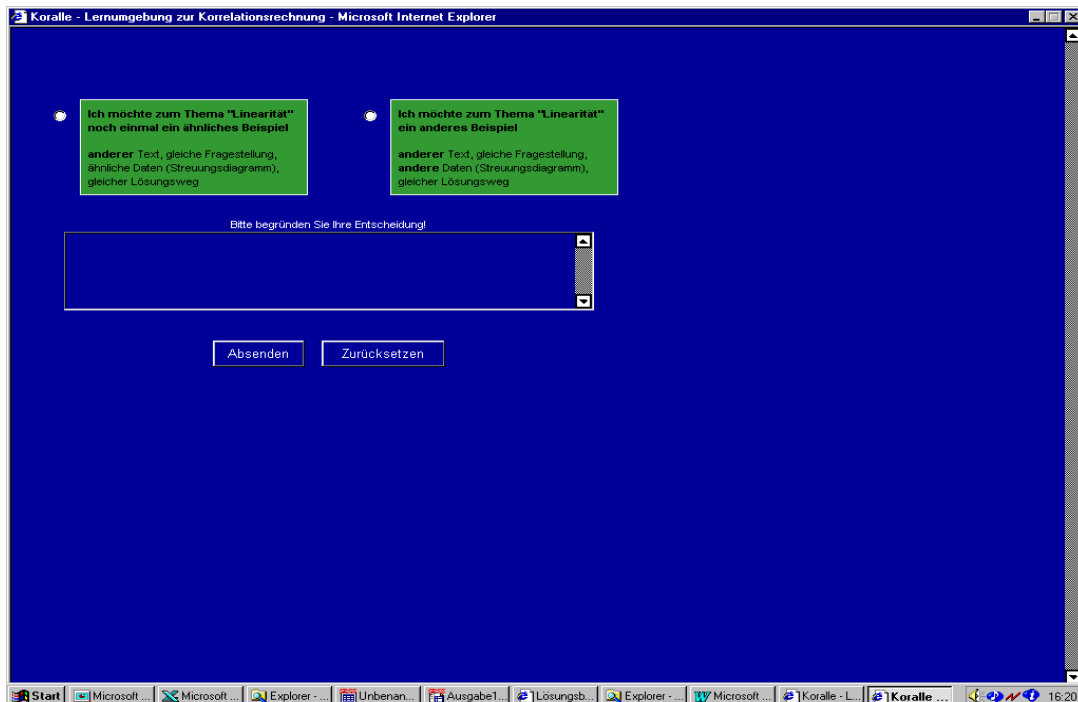


Abbildung 3.5.12: Beispiel für metakognitives Prompting.

Gestaltungsmerkmal 9: Maßnahmen zur Vermeidung von Fehlkonzepten

In *Koralle* wurden spezifische Maßnahmen zur Vermeidung von Fehlkonzepten implementiert: Multiple Kontexte/Perspektiven und unmittelbares Feedback (in Form ausgearbeiteter Lösungsbeispiele und durch Demonstration von Lösungsschritten). Auch das Lernen mit Streuungsdiagrammen und anderen Visualisierungen des Korrelationsbegriffs empfiehlt sich mit Matusita (1999) als instruktionales Remedium gegen Fehlkonzepte. Vor allem aber wurden bei der inhaltlich-didaktischen Aufbereitung der Problemlöseaufgaben und Lösungsbeispiele Fehlkonzepte berücksichtigt, wie sie oben beschrieben wurden. So enthält *Koralle* Aufgaben zur Einschätzung der Stärke von Korrelationen (*Stärke-FK*, *Streuung-FK*), zum Verständnis negativer Korrelationen (*NegKorr-FK*) und insbesondere zu den Anwendungsbedingungen des Korrelationskoeffizienten nach Pearson (*Nähe-an-Linearität-FK*; *Nähe-an-Identität-FK*). Aus diesem Grund wurde auch mit dem Kapitel *Linearität* ein Themenbereich geschaffen, der ein grundlegendes Verständnis des Begriffs des *linearen Zusammenhangs* ermöglichen soll. Für Lernende mit basalen

Verständnisschwierigkeiten wurden im Glossar Erklärungen und Visualisierungen zum Begriff der Streuung implementiert (*Streuung-FK*). Ein viertes Kapitel, das allerdings nicht empirisch erprobt wurde, widmet sich dem Thema *Varianzeinschränkung* bzw. *Einschränkung des Wertebereichs*. Grundsätzlich sollte jedoch bereits das Bearbeiten der Streuungsdiagramme ein besseres und anschauliches Verständnis des Streuungsbegriffs ermöglichen.

Weiterhin wird in anderen Kapiteln dem Einfluss von Ausreißern und heterogenen Untergruppen auf den Korrelationskoeffizient und der angemessene methodische Umgang mit diesen Faktoren didaktisch Raum gegeben – eine Vorgehensweise, die verschiedene Autoren empfehlen (Diehl & Kohr, 1999; Matusita, 1999), weil sie ein tieferes Verständnis des Korrelationsbegriffs fördert.

4 Fragestellungen und Ableitung der Hypothesen

Im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit steht die Frage nach der Effektivität der Lernumgebung zur Korrelationsrechnung und der Promptingmaßnahme zur metakognitiven Unterstützung der Lernenden. Dieser Problemstellung widmet sich der erste Fragenkomplex. Der gemeinsame Nenner der Fragen des zweiten Komplexes besteht darin, mögliche Mediatoren der Wirkung der Promptingmaßnahme zu ergründen. Insbesondere geht es darum, ob sich mögliche Effekte dieser Unterstützungsform tatsächlich metakognitiv erklären lassen.

Die verbleibenden Fragen fokussieren auf die Identifikation von Merkmalsprofilen Lernender und deren Zusammenhang mit Lernleistung und Lernprozess. Dieser Teil der Studie hat explorativen Charakter.

Aus Gründen der Lesbarkeit wird auf die explizite Formulierung von Hypothesen verzichtet. Anstatt dessen werden in den jeweiligen Kommentaren zu den einzelnen Fragen Erwartungen formuliert, denen die entsprechenden Hypothesen zu entnehmen sind.

4.1 Fragen zum Einfluss der Lernumgebung und des metakognitiven *Prompting* auf den Lernerfolg sowie zur Nachhaltigkeit der erzielten Effekte

Mit den nachfolgenden Fragen wird die Effektivität der Lernumgebung Koralles untersucht. Insbesondere soll geprüft werden, inwieweit eine spezifische Form der instruktionalen Unterstützung, das metakognitive *Prompting*, die Effektivität der Lernumgebung verbessert.

Frage 4.1.1: Welchen Einfluss hat das Arbeiten mit der Lernumgebung auf Aspekte des Lernerfolgs? (Effektivität der Lernumgebung)

Die Effektivität des Lernens mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen und Problemlöseaufgaben konnte in zahlreichen Studien nachgewiesen werden (siehe Kap. 2.2.2). Die zusätzlich angewandten Designprinzipien (z. B. multiple Kontexte, ansteigende Komplexität, Ausblenden von Leitfragen zur Strukturierung des Lösungswegs, Anwendung von Prinzipien, die sich aus der Theorie der kognitiven Belastung ergeben) haben sich ebenfalls in verschiedenen Lernkontexten bewährt (siehe Kap. 2.2.2). Von daher ist zu erwarten, dass die Lernenden vom Umgang mit der Lernumgebung *Koralle* profitieren. Insbesondere ist ein Lernfortschritt bei Aufgaben zum Transfer zu vermuten. Dasselbe gilt für den Erwerb mentaler Modelle zum Korrelationsbegriff, der durch gezielte Maßnahmen (Visualisierungen, Konstruktionsaufgaben) gefördert werden soll. Bei Aufgaben, die rein deklarative Wissensbestände prüfen (Faktenwissen) sind geringere Effekte wahrscheinlich.

Insgesamt wurde bei der Konzeption der Lernumgebung darauf geachtet, dass Lernenden genügend Freiraum für selbstgesteuertes Lernen zur Verfügung steht ohne diese zu überfordern. Die Strukturiertheit der Lernumgebung (z. B. durch lineare Sequenzierung der Aufgaben) und eine instruktionale Unterstützung von Selbststeuerungsprozessen sollten insbesondere vorwissensschwächeren Lernenden zu Gute kommen.

Frage 4.1.2: Inwieweit sind die durch die Lernumgebung erzielten Effekte auf den Lernerfolg nachhaltig?

Hier geht es vor allem um die Frage, ob der potenzielle Wissenszuwachs, der durch die Lernumgebung insgesamt bzw. durch einzelne instruktionale Maßnahmen erzielt wird, nur kurzfristiger Natur ist oder – im Sinne der Erwartung – auch längerfristig noch nachgewiesen werden kann. Dieser Aspekt ist für die Beurteilung der Qualität der Lernumgebung entscheidend. Außerdem

ermöglicht die Follow-up Messung eine Kontrolle über kurzfristige Übungs- und Gedächtniseffekte, die unmittelbar nach Bearbeiten der Lernumgebung wirksam werden können und das Ergebnis der Post-Messung beeinflussen.

Frage 4.1.3: Welchen Einfluss hat die Maßnahme zur metakognitiven Unterstützung (metakognitives *Prompting*) auf den Lernerfolg? (Effektivität der Unterstützungsmaßnahme)

Vor dem Hintergrund mehrerer Promptingstudien (Kap. 2.1.3) ist ein positiver Effekt der Unterstützungsmaßnahme zu erwarten. Insbesondere Begründungsprompts haben sich als wirksam erwiesen. Um Überforderungseffekte (kognitive Überlastung) zu vermeiden, wurde die Promptingmaßnahme vergleichsweise einfach gestaltet und derart in den Lernprozess integriert, dass Lernende genau dann metakognitive Hilfe erhalten, wenn sie vor Lernentscheidungen stehen. Vergleichbare Studien (Kap. 2.1.3) lassen erwarten, dass sich die Promptingmaßnahme vor allem positiv auf die Fähigkeit zum Wissenstransfer auswirkt.

Frage 4.1.4: Inwieweit sind die durch die Unterstützungsmaßnahme erzielten Effekte auf den Lernerfolg nachhaltig?

Ebenso wie für die Lernumgebung als Ganzer ist auch für die Erprobung der spezifischen Promptingmaßnahme Nachhaltigkeit ein entscheidendes Qualitätsmerkmal.

4.2 Fragen zum Lernprozess und zum Wirkmechanismus des metakognitiven *Prompting*

Der nachfolgende Fragenkomplex zielt vor allem darauf ab, den Wirkmechanismus des metakognitiven *Prompting* zu ergründen.

Frage 4.2.1: Inwieweit können bestehende metakognitive Defizite Lernender durch die Maßnahme zur metakognitiven Unterstützung kompensiert werden?

Zunächst wird untersucht, ob das *Prompting* differenzielle Effekte auf Lernende mit unterschiedlichen metakognitiven Kompetenzen ausübt. Insbesondere geht es dabei darum, ob Lernende metakognitive Defizite durch das metakognitive *Prompting* kompensieren können, oder ob diese Maßnahme eher zu einer Erhöhung der Motivation führt und auf diesem Weg einen besseren Lernerfolg ermöglicht. Von einer gelungenen metakognitiven Unterstützung wird erwartet, dass ihre Effekte nicht oder zumindest nicht überwiegend das Produkt motivationaler *Nebeneffekte* sind.

Frage 4.2.2: Inwieweit beeinflusst das metakognitive *Prompting* Aspekte der Motivation?

Möglichen motivationalen Wirkungen der Promptingmaßnahme wird außerdem durch einen Vergleich der Lernbedingungen hinsichtlich der abhängigen Motivationsvariablen nachgegangen. Es wird erwartet, dass sich die Lernenden in dieser Hinsicht nicht unterscheiden.

Darüber hinaus ist die Erhebung motivationaler Aspekte für die Qualitätsbeurteilung einer Lernumgebung von besonderer Bedeutung. Das gilt insbesondere für das Statistiklernen, da hier von einer eher ungünstigen Motivationslage der Lernenden auszugehen ist (Kap. 2.1.3 und Kap. 3.1). Insbesondere ist darauf zu achten, dass eine Lernumgebung, die positive kognitive Effekte evoziert, keine negativen motivationalen *Nebenwirkungen* entfaltet, da sich diese wiederum langfristig negativ auf den Wissenserwerb auswirken können (Kap. 2.1.3). Da sich das Lernen mit authentischen Problemstellungen jedoch auch in motivationaler Hinsicht als günstig erwiesen hat (Kap. 2.2.2), werden für das Bearbeiten der Lernumgebung *Koralle* keine negativen motivationalen Effekte erwartet.

Frage 4.2.3: Inwieweit nutzen Lernende mit bzw. ohne metakognitivem *Prompting* die Lernumgebung unterschiedlich?

Als adaptive Lernumgebung ermöglicht *Koralle* bestimmte Lernentscheidungen, die sich in messbarem Nutzungsverhalten niederschlagen. Von einer Analyse des Nutzungsverhaltens werden insbesondere zusätzliche Hinweise zur Beantwortung der Frage nach den motivationalen versus metakognitiven Wirkungen der Promptingmaßnahme erwartet.

Frage 4.2.4: Wie werden Lernentscheidungen begründet, wenn Lernende explizit dazu aufgefordert werden (metakognitives *Prompting*)?

Die Analyse der Begründungen von Lernentscheidungen unter metakognitivem *Prompting* soll ebenfalls über die Wirkungsweise der Maßnahme Aufschluss geben. Dabei wird insbesondere untersucht, ob die Begründungen erwartungsgemäß die Verwendung bestimmter metakognitiver Strategien erkennen lassen, oder ob es z. B. überwiegend motivationale Zustände sind, auf die Lernende in ihren Begründungen rekurren.

4.3 Fragen zum Zusammenhang zwischen verschiedenen Lernermerkmalen und Aspekten des Lernerfolgs

Die folgenden Fragen zielen darauf ab, differenzielle Effekte der Lernumgebung auf Lernende mit unterschiedlichen Konstellationen von Lernvoraussetzungen zu prüfen. In den theoretischen Kapiteln wurde u. a. auf die besondere Rolle des Vorwissens (Kap. 2.1.1), die Prädiktionskraft metakognitiver Variablen für die Lernleistung (Kap. 2.1.3), auf den Einfluss motivationaler States und Traits für den Wissenserwerb (Kap. 2.1.2) und auf das komplexe Zusammenspiel dieser

Faktoren verwiesen. Verschiedene ATI-Befunde demonstrieren, dass selbst unter experimentellen Bedingungen das Lerngeschehen in einer komplexen computerbasierten Lernumgebung in quantitativer und qualitativer Hinsicht in hohem Maße von bestimmten Merkmals-Konstellationen der Lernenden beeinflusst wird (Kap 2.2.3).

Frage 4.3.1: Inwieweit können auf der Basis von Variablen, die als potenzielle Einflussgrößen beim beispielbasierten Lernen wirksam werden (kognitive, metakognitive und motivationale Eingangsvoraussetzungen), homogene Untergruppen von Lernenden identifiziert werden, die verschiedene Merkmalskonstellationen aufweisen?

Vergleichbare Studien zum computerbasierten Lernen und zum beispielbasierten Instruktionsansatz (Kap. 2.2.3) konnten unterschiedliche Merkmalsprofile Lernender nachweisen.

Frage 4.3.2: Inwieweit unterscheiden sich Lernende mit unterschiedlichen Merkmalskonstellationen im unmittelbaren und nachhaltigen Lernerfolg?

Um optimale Lernbedingungen für möglichst viele Lernende im Umgang mit *Koralle* zu schaffen, war es angezeigt, adaptive Komponenten zu konzipieren. Dennoch kann nicht davon ausgegangen werden, dass sich Lernende mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen in ihren absoluten Lernleistungen *nicht* unterscheiden. Unter dem Gesichtspunkt der optimalen Förderung wäre ein solches Ergebnis auch nicht instruktional wünschenswert.

Frage 4.3.3: Inwieweit unterscheiden sich Lernende mit unterschiedlichen Merkmalskonstellationen in der Bearbeitung der Lernumgebung (Lernzeit, Anzahl bearbeiteter Problemlöseaufgaben und Anzahl zusätzlich bearbeiteter Aufgaben)?

Es wird erwartet, dass sich Lernende mit unterschiedlichen Merkmalsprofilen in ihrem Nutzungsverhalten unterscheiden. So sollten z. B. Lernende mit ausgeprägt niedrigem Vorwissen mehr und andere Aufgaben zur Bearbeitung wählen als Lernende, die bereits über mehr Vorkenntnisse verfügen, vorausgesetzt sie machen von den (adaptiven) Möglichkeiten der Lernumgebung Gebrauch.

Frage 4.3.4: Inwieweit unterscheiden sich Lernende mit unterschiedlichen Merkmalskonstellationen im subjektiven Lernerfolg und in der Akzeptanz der Lernmethode?

Instrukional wünschenswert wäre, dass die Lernumgebung auf möglichst viele unterschiedliche Lernende positive motivationale Wirkungen ausübt. Da Lernerfolg im allgemeinen günstige motivationale Effekte evoziert (Kap. 2.1.2), werden für Lernende mit überdurchschnittlich günstigen Lernvoraussetzungen die höchsten Motivationswerte erwartet.

5 Methode

5.1 Probanden

57 Probanden arbeiteten im Rahmen einer mehrstündigen Sitzung mit der computerbasierten Lernumgebung *Koralle* (Experimentalgruppen 1 und 2). 50 von ihnen waren Pädagogikstudenten an der Ludwig-Maximilians-München, sieben studierten Psychologie. Die Probanden wurden per Aushang im Institut für Pädagogische Psychologie angeworben und erhielten für die freiwillige Teilnahme an der Untersuchung 20,-€. Die Daten der Probanden wurden verschlüsselt.

Es nahmen deutlich mehr Frauen (46 bzw. 80,7 Prozent) als Männer (9 bzw. 15,8 Prozent) teil. Das Alter der Probanden variierte zwischen 19 und 37 Jahren, das Durchschnittsalter lag bei 24 Jahren. Die angegebene letzte Mathematiknote streute zwischen „sehr gut“ (6 Probanden) und „ungenügend“ (2 Probanden). Die meisten Teilnehmer (28,1 Prozent) hatten die Note „befriedigend“, 12,3 Prozent hatten eine Note schlechter als „ausreichend“. Der Mittelwert der angegebenen Noten lag bei 3,06 ($SD = 1,28$).

Ihre Vorerfahrung mit Computern schätzten 56 Prozent der Untersuchungsteilnehmer als „mittel“ ein. Niemand gab an, über „keine“ Vorerfahrung mit Computern zu verfügen. 28,1 Prozent urteilten, „viel“ oder „sehr viel“ Computererfahrung zu haben.

Von den 50 Pädagogikstudenten unter den Teilnehmern besuchten 39 (68,4 Prozent) im letzten Semester (im Rahmen des Methodenteils ihrer Ausbildung) eine Vorlesung zu „empirischen Forschungsmethoden und Statistik“, in der u. a. der Korrelationsbegriff eingeführt wurde.

67 weitere Studenten, welche dieselbe Vorlesung besuchten, aber nicht mit *Koralle* arbeiteten, bildeten die Kontrollgruppe. Kontroll- und Experimentalgruppen, sind im Hinblick auf die soziodemographischen Variablen Alter, Geschlecht, Studienfach und Semesteranzahl vergleichbar.

5.2 Design

Die vorliegende Untersuchung weist experimentelle und quasi-experimentelle Anteile auf.

Die Zuweisung der 57 per Aushang rekrutierten Probanden zu einer der beiden Experimentalgruppen erfolgte zufällig. Variiert wurde ein Merkmal der Lernumgebung: das metakognitive Prompting. 27 Probanden wurden überall dort, wo ihnen die Lernumgebung erlaubte, zwischen Alternativen zu wählen (z. B. eine weitere Aufgabe zu bearbeiten oder nicht), vom Lernprogramm dazu aufgefordert, ihre Wahl schriftlich zu begründen (Experimentalgruppe 1). 28 Probanden erhielten diese Form der Unterstützung nicht (Experimentalgruppe 2).

Bei der Kontrollgruppe dagegen handelte es sich um eine vorgefundene Gruppe von 67 Vorlesungsteilnehmern. Aus Gründen der Ökonomie und der Durchführbarkeit der Untersuchung konnte die Zuteilung zur Kontrollgruppe nicht zufällig erfolgen.

5.3 Metakognitives *Prompting* versus kein metakognitives *Prompting*

Die computerbasierte Lernumgebung *Koralle* wurde in zwei Versionen eingesetzt. Eine der beiden Versionen enthielt eine Maßnahme zur metakognitiven Unterstützung, die andere nicht. Die Unterstützungsmaßnahme wurde als eine Aufforderung (*Prompting*) an die Nutzer der Lernumgebung, bestimmte Lernentscheidungen zu begründen, implementiert. Diese Lernentscheidungen betreffen zwei Arten von regelmäßig auftretenden Wahlmöglichkeiten, welche die Lernumgebung ihren Nutzern offeriert: Erstens die Möglichkeit, eine Aufgabe entweder als Problemlöseaufgabe oder in Form eines vollständigen Lösungsbeispiels zu bearbeiten und zweitens die Option, sich nach dem Bearbeiten einer Aufgabe eines bestimmten Aufgabentyps mit einer weiteren Aufgabe vom selben Aufgabentyp zu beschäftigen. Mit jeder dieser Optionen erhalten die Nutzer der Promptingversion vom Lernprogramm den Satz „Bitte

begründen Sie ihre Entscheidung“ zusammen mit einer Eingabemaske, in der die Begründung per Tastatur eingegeben werden muss.

5.4 Kategoriensystem, Ratingprozedur und Raterübereinstimmung

Um zu erfahren, auf welche Weise Lernende mit der metakognitiven Hilfe umgehen, wurden die schriftlichen Antworten der Lernenden von zwei erfahrenen Beurteilern (dem Autor der vorliegenden Arbeit und einem Co-Rater) ausgewertet. Als Kodierungseinheit zählte der gesamte in das Eingabefeld geschriebene Text. Mehrfachkodierungen waren möglich und kamen bei ca. 24 Prozent der Begründungen vor. Allerdings wurden nie mehr als zwei Kategorien pro Begründung vergeben.

Das verwendete Kategoriensystem wurde auf der Grundlage theoretischer Vorüberlegungen konzipiert und zunächst an einer Teststichprobe von vier Probanden, die eine Version der Lernumgebung *Koralle* mit metakognitivem *Prompting* bearbeiteten, an die empirisch vorgefundenen Begründungen adaptiert. Im Laufe der Anwendung des Kategoriensystems im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden die verwendeten Kategorien abermals geringfügig modifiziert.

Kategorien

Evaluation: Die Kategorie „Evaluation“ wird vergeben, wenn der Lernende in der zu kodierenden Begründung den vorangegangenen Lern- und Verstehensprozess oder die vorangegangene Lernleistung evaluiert bzw. sich selbst im Hinblick auf die erbrachte Leistung bewertet (z. B.: „Ich denke, ich hab das erste Beispiel so weit ganz gut verstanden, auch wenn ich nicht so gründlich geantwortet habe.“). Aus metakognitionstheoretischer Perspektive zeigt diese Kategorie Kontroll- und Überwachungsaktivitäten (negatives und positives Monitoring) an und entspricht somit z. T. der klassischen Kontrollkomponente des Metakognitionskonstrukts.

Evaluation/Fehlerdiagnose: Die Kategorie „Evaluation/Fehlerdiagnose“ wird kodiert, wenn eine Evaluation im Sinne der *Evaluations*-Kategorie eine Fehlerdiagnose enthält, aus der hervorgeht, was zuvor falsch oder richtig gemacht bzw. ungenügend oder ausreichend verstanden wurde (z. B.: „Ich habe das mit der Homoskedastizität vorhin nicht richtig begriffen. Ich will es an einem ähnlichen Beispiel noch mal versuchen.“).

Selbstkontrolle: Diese Kategorie ähnelt ebenfalls Elementen der Kontrollkomponente des Metakognitionskonstrukts insbesondere dem Konzept der Selbst-Regulation. Sie wird gewählt, wenn ein Lernender seine Lernentscheidung explizit damit begründet, eigenes Wissen oder den bisherigen Lernfortschritt prüfen zu wollen (z. B.: „Ich will die Frage zuerst selbst beantworten, weil ich sehen will, ob ich die richtige Antwort wirklich weiß, oder sie nur zu wissen glaube.“).

Lerntheorie/Lernstrategie: Unter diese Kategorie fallen Begründungen, die Aspekte einer Lerntheorie/epistemologischen Überzeugung enthalten (z. B.: „Zwei Aufgaben sind immer besser als eine. Hat einen größeren Lerneffekt.“), die Beschreibung einer Lernstrategie (z. B.: „Ich lerne seit der Schulzeit schon so und auch wenn ich unsicher bin, probier ich die Lösung, kann nur falsch werden und ich kann aus meinen Fehlern lernen.“) oder Aspekte einer epistemischen Überzeugung (z. B.: „Wenn ich die Lösung vorher sehen würde, würde ich mich weniger anstrengen.“). Damit bestehen konzeptuelle Übereinstimmungen zwischen dieser Kategorie und der klassischen Wissenskomponente des Metakognitionskonstrukts.

Positive Motivation/Emotion: Unter diese Kategorie fallen Begründungen, in denen Lernende auf *positive* motivationale und/oder emotionale Zustände Bezug nehmen, um eine Lernentscheidung zu erklären (z. B.: „Ich möchte ein bisschen Abwechslung.“, „Ein ähnliches Beispiel zu bearbeiten, ist langweilig.“, „Ich bin so neugierig.“).

Negative Motivation/Emotion: Im Unterschied zur Kategorie „positive Motivation/Emotion“ wird diese Kategorie vergeben, wenn der motivationale und/oder emotionale Zustand des Lernenden *negative* Wertigkeit hat (z. B.: „Ich möchte gerne das nächste Thema bearbeiten, weil langsam meine Konzentration nachlässt.“, „Ich bin schreibfaul.“, „Ich bin so deprimiert, weil meine Lösung schon wieder falsch war.“).

Sonstiges: Wenn eine Begründung keiner der bestehenden Kategorien zugeordnet werden kann, wird die Kategorie „Sonstiges“ vergeben.

Durchklicken/Nonsense: Die Lernenden haben die Möglichkeit die Promptingmaßnahme zu umgehen, indem sie weiterklicken ohne eine Begründung in die Eingabemaske einzutragen. Außerdem können sie natürlich auch Unsinn schreiben. Beide Fälle werden mitgezählt, um u. a. die Akzeptanz der Maßnahme zu prüfen. „Durchklicken/Nonsense“ zählt jedoch nicht als Begründungskategorie und wird bei der Bestimmung der Raterübereinstimmung nicht berücksichtigt.

Ratingprozedur und Raterübereinstimmung

Beim Raten der Begründungen gingen die beiden Beurteiler zunächst unabhängig voneinander vor. Im nächsten Schritt wurden deren Kodierungen mittels Cohens Kappa (Cohen, 1960) auf Übereinstimmung hin überprüft. Außerdem wurden die ermittelten Werte für Kappa nach dem in Bortz und Lienert (1998) angegebenen Verfahren auf Signifikanz getestet. Der erreichte Kappa-Wert ($\kappa_w = .75$; $p < .01$) deutet eine gute Urteilerkonkordanz an. Abschließend verglichen die beiden Rater die nicht übereinstimmenden Kodierungen und behoben die bestehenden Differenzen in einem Konsensrating.

5.5 Versuchsablauf

Tabelle 5.5.1 gibt den Ablauf des Versuchs im Überblick wieder.

Tabelle 5.5.1: Überblick über den Versuchsablauf. Die linke Spalte enthält die jeweilige Phase des Versuchs, die rechte Spalte die Zeitdauer für diese Phase.

Versuchs- phase		EGn	KG	Zeit- dauer
Vorab	<ul style="list-style-type: none"> • Kognitive und metakognitive Lernvoraussetzungen <ul style="list-style-type: none"> ○ Wissenstest zum Korrelationsbegriff ○ Vorwissenstest zum Korrelationsbegriff ○ Vorerfahrung mit Computern ○ Metakognitive Kompetenzen <ul style="list-style-type: none"> ▪ Metakognitive Lernstrategien ▪ Selbsteinschätzung metakognitiver Kompetenzen • Motivationale Lernvoraussetzungen <ul style="list-style-type: none"> ○ Intrinsische Motivation und Interesse ○ Themenspezifisches Selbstkonzept • Soziobiographische Variablen 	+ + + + + + +	+ - + + - + +	max. 1h 30 min
Während der Lernphase	Lernbedingung mit Prompting (n = 27) versus Lernbedingung ohne metakognitives Prompting (n = 28) <ul style="list-style-type: none"> • Bearbeitungszeit, Zeit für Beschäftigung mit Lösungsbeispielen • Anzahl der bearbeiteten Aufgaben; Anteil der Aufgaben, die nur in Form eines Lösungsbeispiels bearbeitet wurden • Qualitative Daten: <ul style="list-style-type: none"> ○ Qualität der Lösungen ○ Qualität der Begründungen (nur bei metakognitivem Prompting) ○ Protokolle zum lauten Denken (nur bei einer Teilstichprobe) 	+ + + + + +	- - - - - -	max. 3h
Nach der Lernphase	<ul style="list-style-type: none"> • Erfassung des Lernerfolgs: Nachtest zum Korrelationsbegriff • Abhängige Motivationsvariablen <ul style="list-style-type: none"> ○ Akzeptanz der Lernumgebung ○ Subjektiver Lernerfolg • Nutzungsverhalten 	+ + + +	- - - -	max 40 min

Tabelle 5.5.1: Fortsetzung

Follow-up	<ul style="list-style-type: none"> Erfassung der Stabilität des Lernerfolgs: Nachtest zum Korrelationsbegriff 	+	+	max 30 min
------------------	--	---	---	-----------------------

Anmerkungen: „EGn bedeutet „Experimentalgruppen“ „KG“ bedeutet „Kontrollgruppe“. Ein „+“ in der Spalte für die Experimental- bzw. Kontrollgruppe bedeutet „wurde durchgeführt“ bzw. „wurde gemessen“, ein „-“ bedeutet das Gegenteil. „(+)“ zeigt an, dass eine leicht veränderte Form der Skala eingesetzt wurde.

Zwei Wochen vor Beginn des Experiments wurden Teilnehmern der Vorlesung „empirische Forschungsmethoden und Statistik“ im Rahmen einer Vorlesungsevaluation zum Thema „Korrelationsrechnung“ eine Skala zur intrinsischen Motivation, eine Skala zu metakognitiven Lernstrategien und eine Skala zum themenspezifischen Selbstkonzept vorgelegt. Außerdem wurden die letzte Mathematikschulnote, die Vorerfahrung im Umgang mit Computern und soziobiographische Daten erhoben. Eine Woche danach und mit Abschluss einer sechsständigen Einführung in den Korrelationsbegriff im Rahmen dieser Vorlesung wurde mit den Probanden ein 20-minütiger Wissenstest zum Korrelationsbegriff durchgeführt.

39 Hörer dieser Vorlesung nahmen später am Experiment teil. Um eine in Bezug auf den Vorwissensstand heterogene Stichprobe zu gewinnen, wurden neben den Vorlesungsteilnehmern auch Studenten höherer Semester und Psychologiestudenten rekrutiert. 67 weitere Teilnehmer dieser Vorlesung, die bei der später durchgeführten Follow-up Messung anwesend waren, wurden als Kontrollgruppe verwendet.

Das Experiment wurde in Einzelsitzungen durchgeführt. Den Probanden wurde mitgeteilt, dass ihre Aufgabe darin besteht, ein neues Lernprogramm zu testen. Anschließend erklärte ihnen der Versuchsleiter den Ablauf des Experiments und sie wurden anhand einer Beispielseite auf wichtige Merkmale des Lernprogramms hingewiesen. Die Hinweise des Versuchsleiters wurden den Probanden außerdem noch einmal in Form eines „Leitfadens zum Arbeiten mit Koralles“ auf der Startseite des Lernprogramms dargeboten (Abb. 5.5.1).

In der Lernumgebung *Koralle* werden Sie aufgefordert, sich in die Rolle eines Studierenden hineinzuversetzen, der für eine Forschungsgruppe verschiedene wissenschaftliche Aufgaben ausführt.

In dieser Rolle werden Sie mit drei Themen im Bereich „Korrelationsrechnung“ konfrontiert – „Linearität“, „Heterogene Untergruppen“ und „Ausreißer“.

Zu jedem dieser Themen gibt es verschiedene Beispielaufgaben. Manche Beispielaufgaben enthalten blau markierte Begriffe wie z. B. „Regressionsgerade“. Wenn Sie solche blau markierten Begriffe anklicken, öffnet sich ein Glossar, in dem sie Erläuterungen zu diesen Begriffen finden. [...]

Bei der Bearbeitung der Themen bzw. Beispielaufgaben sollten Sie sich soviel Zeit nehmen, wie sie brauchen. Auf die Geschwindigkeit kommt es nicht an. Sinn dieses Experiments ist es, die Lernumgebung *Koralle* zu testen und nicht Sie.

Sollten Sie während der Arbeit mit der Lernumgebung Fragen haben, dann wenden Sie sich an den Versuchsleiter.

Wenn Sie mit der Bearbeitung eines Themas fertig sind, dann können Sie 10 Minuten Pause einlegen und den Raum verlassen, bevor Sie mit dem nächsten Thema beginnen.

Abbildung 5.5.1: Auszug aus dem „Leitfaden zum Arbeiten mit *Koralle*“

Um die ökologische Validität der Untersuchung zu sichern, wurde für das Bearbeiten des Lernprogramms keine Lernzeit festgelegt. Da im Rahmen von Voruntersuchungen Lernzeiten bis zu max. drei Stunden ermittelt wurden, wurde den Probanden eine maximale Bearbeitungszeit von drei Stunden zur Orientierung vorgegeben.

Um eine größtmögliche Vergleichbarkeit der beiden Experimentalgruppen zu ermöglichen, wurden bei *allen* Probanden der Experimentalgruppen (also auch denjenigen, die an der Vorlesungsevaluation teilgenommen hatten) die Lernvoraussetzungen (erneut) erhoben. Davon ausgenommen waren „Vorerfahrung mit Computern“ und „letzte Mathematiknote“. Die Skala zur intrinsischen Motivation wurde um sechs Items erweitert, die sich speziell auf die experimentelle Situation und die Arbeit mit der Lernumgebung bezogen. Zur Erfassung des themenspezifischen Selbstkonzepts wurde dieselbe Skala eingesetzt

wie im Rahmen der Vorlesungsevaluation. Außerdem wurde den Probanden eine Skala zur Selbsteinschätzung metakognitiver Kompetenzen vorgelegt, die speziell auf die Anforderungen der Lernsituation zugeschnitten war. Im Anschluss daran hatten die Probanden 10 Minuten Zeit, einen Vorwissenstest zu bearbeiten, der ähnliche Aufgaben enthielt wie der eine Woche zuvor durchgeführte Wissenstest zum Korrelationsbegriff.

Während der Lernphase wurden bei einem Teil der Probanden Lautdenkprotokolle erhoben. Das laute Denken wurde zuvor anhand einer Beispielaufgabe eingeübt. Wenn die Probanden längere Zeit schwiegen (20 Sekunden), wurden sie von den Versuchsleitern in standardisierter Form zum lauten Denken aufgefordert.

Wenn bei der Bearbeitung der Lernumgebung Fragen oder Verständnisprobleme auftraten, gaben die Versuchsleiter halbstandardisierte Rückmeldungen. Bei Bedarf durften die Probanden nach jedem Thema 10 Minuten Pause einlegen.

Im Anschluss an die Lernphase wurden anhand zweier Skalen die Akzeptanz der Lernumgebung und der subjektive Lernerfolg erhoben. Außerdem hatten die Probanden einen biographischen Fragebogen auszufüllen. Drei offene Fragen gaben den Probanden die Möglichkeit, über ihre Lernerfahrungen zu berichten, Verbesserungsvorschläge zu machen und die Lernumgebung zu bewerten. Den Abschluss des Experiments bildete der Nachtest. Die in Voruntersuchungen ermittelte maximale Bearbeitungszeit von 30 Minuten wurde den Probanden als zeitliches Limit vorgegeben. Sollte ein Proband diese Zeit überschreiten, wurden weitere 5 Minuten Zeit gewährt.

Einen Monat nach Ende des Experiments wurde eine Follow-up Messung durchgeführt. Probanden der Kontroll- und der Experimentalgruppen wurde derselbe Nachtest vorgelegt, wie nach Abschluss des Experiments. Die Bearbeitungszeit wurde abermals auf 30 Minuten begrenzt.

5.6 Instrumente

Die Darstellung der Instrumente erfolgt nach theoretischen Gesichtspunkten, die im Zusammenhang mit den Untersuchungsfragen stehen.

Als erstes werden die Verfahren zur Erfassung der kognitiven, metakognitiven und motivationalen Lernvoraussetzungen dargestellt. Dann werden die abhängigen Maße beschrieben: die Motivationsskalen und der Nachtest zur Erfassung des Lernerfolgs.

Bei den Instrumenten zur Erfassung der kognitiven Lernvoraussetzungen handelt es sich um verschiedene, aus mehreren Aufgaben bestehende Wissenstests. Die Aufgaben werden entsprechend der im theoretischen Teil der vorliegenden Arbeit dargestellten Wissenstaxonomie aus repräsentationstheoretischer Perspektive beschrieben und eingeordnet.

Sämtliche Reliabilitätsangaben in diesem Abschnitt geben die Schätzung der internen Konsistenz nach Cronbach (1951) wieder. Bei allen Ratingskalen, die in der Untersuchung zum Einsatz kamen, gab es sechs Ankreuzmöglichkeiten: „stimmt überhaupt nicht“, „stimmt weitgehend nicht“, „stimmt ein wenig“, „stimmt weitgehend“ und „stimmt genau“. Eine Ausnahme stellt die Skala zu den metakognitiven Lernstrategien dar. Hier waren die sechs Ankreuzmöglichkeiten anders verankert, nämlich mit: „sehr selten“, „selten“, „eher selten“, „eher oft“, „oft“, „sehr oft“. Alle Instrumente sind vollständig im Anhang aufgeführt.

5.6.1 Kognitive und metakognitive Lernvoraussetzungen

Wissenstests zur Korrelationsrechnung

Im Rahmen der Vorlesungsevaluation wurde ein aus sieben Aufgaben bestehender Wissenstest zum Korrelationsbegriff durchgeführt. Mit den ersten beiden Aufgaben wird propositionales Wissen erfasst (Aufgabe 1: „Was misst der Korrelationskoeffizient?“, Aufgabe 2: „Was ist ein Ausreißer?“).

Die dritte Aufgabe („Angenommen, Sie haben ein Streudiagramm für zwei Variablen X und Y vor Augen, woran sehen Sie, ob zwischen X und Y ein linearer Zusammenhang besteht?“) setzt voraus, dass der Proband zumindest über

ein einfaches mentales Modell zum Begriff des „linearen Zusammenhangs“ verfügt, sie lässt sich jedoch auch allein durch Rückgriff auf propositionale Wissensbestände lösen, falls der Proband z. B. ein ähnliche Frage gelesen und sich die Antwort gemerkt hat.

Die vierte Frage („Korrigieren Sie den nachfolgenden Satz so, dass sich eine richtige Aussage ergibt: ‚Wenn der Korrelationskoeffizient die Größe $r = 0$ hat, dann hat die Regressionsgerade eine positive Steigung und alle Datenpunkte liegen auf ihr.‘“), hat mehrere Lösungsmöglichkeiten (z. B.: „Wenn der Korrelationskoeffizient die Größe $r = 0$ hat, dann verläuft die Regressionsgerade horizontal (parallel zur x-Achse) und hat somit keine Steigung.“ oder „Wenn der Korrelationskoeffizient die Größe $r = 1$ hat, dann hat die Regressionsgerade eine positive Steigung und alle Datenpunkte liegen auf ihr.“). Sie lässt sich in Abhängigkeit von Lösung und Lösungsweg mit einem unterschiedlichen Ausmaß an propositionalem und analogem Wissen lösen.

Alle weiteren Aufgaben (sämtliche Aufgaben inklusive einem Auswertungsschema befinden sich im Anhang) verlangen vom Probanden, bestehendes Wissen auf authentische Problemfälle anzuwenden (Transfer) und setzen eine Integration von propositionalem und analogen Wissen voraus. Außerdem werden mit diesen Aufgaben auch nicht-deklarative Wissensbereiche geprüft. Aufgrund der begrenzten Bearbeitungszeit erfordert deren Lösung den Rückgriff auf prozeduralisierte Wissensbestände.

Inhaltlich ist insbesondere die Kenntnis der Anwendungsbedingungen von Wissen zur Korrelation zum erfolgreichen Bearbeiten dieser Aufgaben nötig. Neben Transferleistungen sind jedoch auch kreative Leistungen (im Sinne der Erschaffung von Neuem) gefragt (so z. B. bei der letzten Aufgabe, bei der selbstständig ausgedachte Alternativerklärungen zu einer bestehenden Kausalhypothese Bestandteil einer als optimal zu bewertenden Lösung sind.).

Vorwissenstest

Für das Experiment wurde zur Erhebung des bereichsspezifischen Vorwissens ein drei Aufgaben umfassender Vorwissenstest eingesetzt. Mit der ersten Aufgabe wird propositionales Wissen erhoben („Was misst der Korrelationskoeffizient?“).

Mit der zweiten Aufgabe soll überprüft werden, ob bzw. in welchem Ausmaß die Probanden bereits über (adäquate) mentale Modelle (im Sinne analoger Wissensrepräsentationen) im Zusammenhang mit dem Korrelationsbegriff verfügen. Zu diesem Zweck werden die Probanden aufgefordert, zu vorgegebenen Korrelationskoeffizienten schematische Streudiagramme zu zeichnen („Skizzieren Sie zu jedem der folgenden Korrelationskoeffizienten schematisch ein Streudiagramm mit Regressionsgerade: $r = 0$, $r = 1$, $r = -.7$.“). Ein erfolgreiches Bearbeiten dieser Aufgabe verlangt vom Lernenden, bestehendes propositionales Wissen (z. B. der Art: Wenn der Korrelationskoeffizient die Höhe Null hat, dann liegt kein linearer Zusammenhang vor) untereinander und mit mentalen Modellen (z. B. ein oder mehrere prototypische Streudiagramme, die keinen linearen Zusammenhang bzw. einen nicht-linearen Zusammenhang darstellen) zu integrieren.

Der dritte Aufgabentyp konfrontiert die Probanden mit einer leichten, konkreten Problemstellung: „In einer Untersuchung an 16 Probanden stellt ein Wissenschaftler fest, dass die Variablen ‚Intelligenz‘ und ‚Studienerfolg‘ in Höhe von $r = .12$ korrelieren. Bald findet er heraus, dass diese niedrige Korrelation durch einen sogenannten ‚Ausreißer‘ zustande gekommen ist. Was heißt das?“. Damit soll geprüft werden, inwieweit Probanden bestehendes Wissen anwenden können (Transfer). Die Transferleistung besteht vor allem darin, von bestimmten Aspekten der inhaltlichen Einbettung der Frage „Was ist ein Ausreißer?“ (z. B. der exakten Höhe des Korrelationskoeffizienten) zu abstrahieren bzw. lösungsrelevante (z. B. kleine Stichprobengröße und damit Empfindlichkeit des Korrelationskoeffizienten für Ausreißer) und weniger lösungsrelevante Informationen (z. B. Art der Variablen) zu unterscheiden. Im Unterschied zu den Transferaufgaben des im Rahmen der Vorlesungsevaluation eingesetzten Wissenstests ist diese Aufgabe also deutlich einfacher.

Insgesamt setzen die Aufgaben des Vortests lediglich ein basales Verständnis des Korrelationsbegriffs voraus, wobei die Aufgabenschwierigkeit von Aufgabe 1 zu Aufgabe 3 hin zunimmt. Dem entsprechend konnten bei der ersten Aufgabe maximal 3 Punkte und 0,25 Bonuspunkte, bei der zweiten Aufgabe 4 Punkte und bei der letzten Aufgabe 5 Punkte erzielt werden, in der Summe also maximal 12 Punkte plus 0,25 Bonuspunkte (Das Auswertungsschema findet sich im Anhang).

Vorerfahrung mit Computern

Die Lernenden schätzten ein, ob sie über *keine, wenig, mittel, viel* oder *sehr viel* Vorerfahrung mit Computern verfügen.

Letzte Mathematikschulnote

Als Indikator für mathematische Kompetenz wurde die letzte Mathematikschulnote der Lernenden erhoben.

Metakognitive Lernstrategien

Die Ratingskala zu metakognitiven Lernstrategien, die in der Vorlesungsevaluation zum Einsatz kam, bestand aus zehn Items, die verschiedene Kontrollaspekte, wie Planung, Überwachung und Regulation von Lernaktivitäten erfassen (z. B.: „Ich versuche mir vorher genau zu überlegen, welche Teile eines bestimmten Themengebiets ich lernen muss und welche nicht.“). Die Reliabilität der Skala betrug .79.

Metakognitive Kompetenz

Für das Experiment wurde eine speziell auf die Anforderungen der Lernumgebung zugeschnittene Ratingskala zur Selbsteinschätzung metakognitiver Kompetenz entwickelt. Da die Lernumgebung Lernentscheidungen einfordert, die vor allem eine Reflexion über Lernfortschritt und Wissensstand nötig machen, enthält die Skala Items wie z. B.: „Ich bin nicht gut darin, in einem neuen Stoffgebiet einzuschätzen, was ich alles (noch) nicht weiß.“ Die Skala bestand aus

zehn Items. Um das Experiment in nur einer Sitzung durchführen zu können und die Probanden dabei nicht zu überfordern, wurde keine größere Skala verwendet. Die Reliabilität der Skala lag bei .65.

5.6.2 Motivationale Lernvoraussetzungen

Intrinsische Motivation und Interesse an Korrelationsrechnung

Intrinsische Motivation und Interesse an Korrelationsrechnung wurden im Rahmen der Vorlesungsevaluation mit fünf Items erfasst (z. B.: „Ich bin an Korrelationsrechnung interessiert.“). Die Reliabilität betrug .90. Für das Experiment wurden der Skala sechs Items hinzugefügt, die sich speziell auf die experimentelle Situation und die Arbeit mit der Lernumgebung bezogen (z. B.: „Ich sehe nicht ein, warum ich mich im Rahmen eines Lernexperiments anstrengen sollte.“). Die aus den neuen Items bestehende „Unterskala“ wies eine Reliabilität von .66 auf. Die Reliabilität der neuen Gesamtskala betrug .87.

Themenspezifisches Selbstkonzept

Bei der Ratingskala zum themenspezifischen Selbstkonzept hatten die Probanden ihre Stärken und Schwächen in Bezug auf ihr Verständnis des Korrelationsbegriffs bzw. auf das Beherrschen der Korrelationsrechnung einzuschätzen (z. B.: „Die korrekte Interpretation korrelationsstatistischer Auswertungen fällt mir schwer.“). Die Skala setzte sich aus sieben Items zusammen. Die Reliabilität lag bei .89. Für das Experiment wurde dieselbe Skala verwendet. Die Reliabilität betrug dort .87.

5.6.3 Abhängige Motivationsvariablen

Akzeptanz der Lernumgebung

Um die Akzeptanz der Lernumgebung zu erfassen, kamen fünf Items zum Einsatz, die sich auf positive oder negative Urteile über die Lernumgebung beziehen (z. B.: „Ich kann meinen Mitstudenten das Lernen mit der Lernumgebung empfehlen.“). Hier betrug die Reliabilität .74.

Subjektiver Lernerfolg

Die Skala zur Erfassung des subjektiven Lernerfolgs setzte sich aus vier Items zusammen, die den Lernerfolg oder Misserfolg beim Lernen mit der Lernumgebung thematisieren (z. B.: „Ich habe durch die Lernumgebung gelernt, korrelationsstatistische Auswertungen richtig zu interpretieren.“). Die Reliabilität der Skala betrug .75.

5.6.4 Nachtest

Der Nachtest zur Erfassung des Lernerfolgs umfasste fünf Aufgaben. Die Aufgaben 1 und 3, mit denen propositionales und „analoges“ (mentale Modelle) Wissen geprüft werden, waren mit den Aufgaben 1 und 2 des Vorwissenstests identisch.

Die zweite Aufgabe konfrontierte die Probanden mit einer leichten, konkreten Problemstellung – ähnlich wie die Transferaufgabe des Vorwissenstests. Wiederum verlangt diese Aufgabe vom Probanden, von lösungsirrelevanten Informationen zu abstrahieren. Zusätzlich wird für den ersten Aufgabenteil („Wie sollte Ihr Bekannter praktisch vorgehen, um eine mögliche Erklärung für die erwartungswidrig niedrige Korrelation zu finden?“) auch prozedurales Wissen relevant.

Aufgabe 4 („Skizzieren Sie ein Streudiagramm für zwei Variablen zwischen denen **kein** linearer Zusammenhang besteht. Begründen Sie kurz, woran man **sieht**, dass zwischen den Variablen in Ihrem Diagramm kein linearer Zusammenhang besteht.“) ähnelt der dritten Aufgabe des Wissenstests, der im Rahmen der Vorlesungsevaluation zum Einsatz kam. Sie ist jedoch schwieriger und beinhaltet einen *Konstruktionsaspekt*. Ihre Intention, das Bestehen mentaler Modelle zum Begriff der Linearität zu prüfen, lässt sich somit nicht mehr durch Rückgriff auf propositionales Wissen umgehen.

Die letzte Aufgabe des Nachtests stellt einen authentischen Problemfall dar und ähnelt in ihren Oberflächenmerkmalen einer der Transferaufgaben des Wissenstests und den Aufgaben zum Themenbereich „Heterogene Untergruppen“,

die in *Koralle* zum Einsatz kamen. Strukturell ist sie jedoch davon verschieden und außerdem deutlich schwieriger, da eine korrekte Lösung voraussetzt, dass der Proband *drei* und nicht wie zuvor nur *zwei* heterogene Untergruppen erkennt. Ein entsprechendes Fehlkonzep, das sich ein Proband durch das Üben mit Fällen, die zwei Untergruppen beinhalten, erworben haben könnte, verhindert also ein erfolgreiches Lösen dieser Aufgabe.

Zusammenfassend lässt sich Folgendes festhalten: Zum einen liegt der Schwerpunkt der Aufgaben des Nachtests darauf, zu prüfen, ob die Probanden entsprechend den Lehr-Lernzielen, die *Koralle* zugrunde liegen, geeignete mentale Modelle zum Korrelationsbegriff erworben haben. Zum anderen fokussiert der Nachtest den Erwerb anwendbaren Wissens mit zwei Transferaufgaben mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad. Alle Aufgaben verlangen die Integration propositionalen Wissens in bestehende Schemata. Lediglich die erste Aufgabe lässt sich mit propositionalem Wissen allein lösen.

6 Ergebnisse und Diskussion

Die Darstellung der Ergebnisse folgt den Untersuchungsfragen (vgl. Kapitel 4).

6.1 Vergleichbarkeit der Untersuchungsgruppen

Um die interne Validität der Untersuchung zu sichern, wird im Folgenden überprüft, inwieweit sich Probanden der drei Untersuchungsgruppen in den kognitiven, metakognitiven und motivationalen Lernvoraussetzungen unterscheiden. Zuerst werden die Probanden der Quasi-Kontrollgruppe (im Folgenden der Einfachheit halber „Kontrollgruppe“ genannt) denen der Experimentalgruppen gegenübergestellt. Dann werden die beiden Experimentalgruppen hinsichtlich ihrer Lernvoraussetzungen verglichen. Abschließend wird untersucht, inwieweit es zwischen den Probanden der beiden Experimentalgruppen Unterschiede in der Lernzeit (time on task) gibt.

6.1.1 Vergleichbarkeit von Kontrollgruppe und Experimentalgruppe

Die Gruppenmittelwerte für kognitive, metakognitive und motivationale Lernvoraussetzungen sind Tabelle 6.1.1.1 zu entnehmen. Absolut betrachtet schnitten die Probanden der Experimentalgruppen als auch der Kontrollgruppe beim Wissenstest zum Korrelationsbegriff schlecht ab. Von maximal 23 zu erreichenden Punkten erzielten die Probanden der Kontrollgruppe im Mittel lediglich 6.99 Punkte. Der Unterschied zu den Probanden der Experimentalgruppen war gering ($t(97) = -1.49, p > .10$). Ihre Vorerfahrung mit Computern schätzten Probanden aller Gruppen im Durchschnitt als „mittel“ ein ($t(107) = -.63, n.s.$). Die durchschnittliche letzte Mathematikschulnote lag

sowohl bei den Probanden der Experimentalgruppen als auch der Kontrollgruppe im mittleren Leistungsbereich ($t(96) = 2.13, n.s.$).

Insgesamt ergaben sich keine statistisch bedeutsamen Unterschiede hinsichtlich der kognitiven Lernvoraussetzungen der Probanden.

Auch bei den metakognitiven Lernvoraussetzungen der Probanden konnten keine statistisch bedeutsamen Unterschiede festgestellt werden ($t(71) = -1.15, n.s.$). Im Mittel gaben sowohl Probanden der Experimentalgruppen als auch der Kontrollgruppe an, „eher oft“ metakognitive Lernstrategien zu verwenden (theoretisches Maximum: 6.00).

Die motivationale Wertkomponente, intrinsische Motivation und Interesse (theoretisches Maximum: 6.00), war bei den Probanden der Experimentalgruppen und der Kontrollgruppe eher schwach ausgeprägt. Ähnlich verhielt es sich in Bezug auf das themenspezifische Selbstkonzept (theoretisches Maximum: 6.00) als motivationaler Erwartungskomponente. Statistisch bedeutsame Unterschiede ergaben sich in beiden Fällen nicht (intrinsische Motivation und Interesse: $t(64) = -.63, n.s.$; themenspezifisches Selbstkonzept: $t(62) = -1.31, n.s.$).

Insgesamt ergab der Vergleich zwischen den Probanden der Experimentalgruppen einerseits und den Probanden der Kontrollgruppe andererseits keine statistisch bedeutsamen Unterschiede bzgl. kognitiver, metakognitiver und motivationaler Lernvoraussetzungen. In dieser Hinsicht kann also die interne Validität der Untersuchung als gesichert gelten.

Tabelle 6.1.1.1: Wissen zum Korrelationsbegriff, Vorerfahrung am Computer, letzte Mathematikschulnote, metakognitive Lernstrategien, intrinsische Motivation und themenspezifisches Selbstkonzept der Probanden der Experimentalgruppen (EG) und der Kontrollgruppe (KG). Fallzahlen, Mittelwerte (Standardabweichung in Klammern) und Ergebnisse der Signifikanzprüfung.

	EG		KG		
	<i>n</i>	<i>M (SD)</i>	<i>n</i>	<i>M (SD)</i>	<i>p</i>
<i>Kognitive Lernvoraussetzungen</i>					
Wissen zum Korrelationsbegriff	32	8.13 (3.72)	67	6.99 (3.48)	<i>n.s.</i>
Vorerfahrung am Computer	55	3.22 (.74)	54	3.13 (.73)	<i>n.s.</i>
Letzte Mathematikschulnote	50	3.02 (1.28)	45	3.49 (1.04)	<i>n.s.</i>
<i>Metakognitive Lernvoraussetzungen</i>					
Metakognitive Lernstrategien	19	4.29 (.44)	54	4.12 (.61)	<i>n.s.</i>
<i>Motivationale Lernvoraussetzungen</i>					
Intrinsische Motivation und Interesse	20	3.57 (1.09)	46	3.40 (.92)	<i>n.s.</i>
Themenspezifisches Selbstkonzept	19	3.83 (.91)	45	3.51 (.88)	<i>n.s.</i>

6.1.2 Vergleichbarkeit der beiden Experimentalgruppen

Die Gruppenmittelwerte der beiden Experimentalgruppen bzgl. der kognitiven, metakognitiven und motivationalen Lernvoraussetzungen lassen sich in Tabelle 6.1.2.1 ablesen.

Um Bodeneffekte zu vermeiden und um die Probanden der beiden Gruppen vor Beginn des Experiments nicht zu frustrieren, wurde das Vorwissen zum Korrelationsbegriff mit einem wesentlich leichtern Test erfasst, als dem, der im Rahmen der Vorlesungsevaluation zum Einsatz kam. Trotz der geringen Aufgabenschwierigkeit schnitten die Probanden beider Gruppen eher schlecht

ab. Bei geringer Streuung lagen die jeweiligen Gruppenmittelwerte unter dem theoretischen Mittelwert von 6,13 Punkten. Statistisch bedeutsame Unterschiede ergaben sich nicht ($t(55) = -.53$, *n.s.*). Probanden beider Gruppen schätzten ihre Vorerfahrung mit Computern als „mittel“ ein ($t(107) = -.63$, *n.s.*). Auch in Bezug auf die letzte Mathematikschulnote entsprachen die Mittelwerte für die einzelnen Experimentalgruppen weitgehend dem oben berichteten Gesamtmittel, sie liegen also für beide Gruppen wieder im mittleren Leistungsbereich ($t(53) = 1.06$, *n.s.*).

Insgesamt unterschieden sich die beiden Experimentalgruppen hinsichtlich der kognitiven Lernvoraussetzungen statistisch nicht bedeutsam.

Ihre metakognitiven Kompetenzen, die mit einer neuen, speziell auf die Anforderungen der Lernumgebung zugeschnittenen Skala erhoben wurden, schätzten Probanden beider Gruppen als eher stark ein (theoretisches Maximum: 6.00). Statistisch bedeutsame Unterschiede traten wiederum nicht auf.

Intrinsische Motivation und Interesse waren bei den Probanden beider Gruppen relativ stark ausgeprägt (theoretisches Maximum: 6.00), ohne dass statistisch bedeutsame Unterschiede auftraten. Vor Beginn des Experiments waren die Werte für intrinsische Motivation und Interesse deutlich höher, als während der Vorlesungsevaluation ($M_{\text{zweite Messung}} = 4.39$ versus $M_{\text{erste Messung}} = 3.57$).

Tabelle 6.1.2.1: Wissen zum Korrelationsbegriff, Vorerfahrung am Computer, letzte Mathematikschulnote, metakognitive Kompetenz, intrinsische Motivation und themenspezifisches Selbstkonzept der Probanden der beiden Experimentalgruppen (EG 1 und 2). Stichprobengröße, Mittelwerte (Standardabweichung in Klammern) und Ergebnisse der Signifikanzprüfung.

	EG 1 (mit <i>Prompting</i>)		EG 2 (ohne <i>Prompting</i>)		
	<i>n</i>	<i>M (SD)</i>	<i>n</i>	<i>M (SD)</i>	<i>p</i>
<i>Kognitive Lernvoraussetzungen</i>					
Wissen zum Korrelationsbegriff	28	4.62 (1.96)	29	4.33 (2.14)	<i>n.s.</i>
Vorerfahrung am Computer	27	3.11 (.80)	28	3.32 (.67)	<i>n.s.</i>
Letzte Mathematikschulnote	25	3.18 (1.16)	25	2.86 (1.40)	<i>n.s.</i>
<i>Metakognitive Lernvoraussetzungen</i>					
Metakognitive Kompetenz	28	4.24 (.49)	29	4.30 (.39)	<i>n.s.</i>
<i>Motivationale Lernvoraussetzungen</i>					
Intrinsische Motivation und Interesse	28	4.39 (.58)	29	4.18 (.63)	<i>n.s.</i>
Themenspezifisches Selbstkonzept	28	3.59 (.59)	29	3.36 (.95)	<i>n.s.</i>

Ein Vergleich der Messwerte für diejenigen 20 Probanden der Experimentalgruppen, die an beiden Erhebungen teilnahmen, ergibt folgendes Bild (siehe Tabelle 6.1.2.3): Intrinsische Motivation und Interesse vor Beginn des Experiments sind im Unterschied zur ersten Messung relativ stark ausgeprägt ($t(19) = 3.44$, $p < .01$). Dieses Ergebnis fällt noch deutlicher aus, wenn diejenigen Items der Motivationsskala, die sich auf die experimentelle Situation und die Arbeit mit der Lernumgebung beziehen, ausgeklammert werden, dann ist $M_{\text{zweite Messung}} = 4.63$. Betrachtet man umgekehrt nur diese Items erhält man ein $M_{\text{zweite Messung}}$ von 3.95. Das Anwachsen der Motivationswerte im Vergleich

zur ersten Messung ist folglich nicht in erster Linie auf den Anreiz, eine neue Lernumgebung kennen zu lernen, oder an einem Experiment teilzunehmen, zurückzuführen.

Tabelle 6.1.2.3: Intrinsische Motivation und Interesse für die 20 Probanden der Experimentalgruppen, die an beiden Messungen teilnahmen. Mittelwerte (Standardabweichung in Klammern) und Ergebnisse der Signifikanzprüfung.

	Erste Messung (Vorlesungs- evaluation) <i>M (SD)</i>	Zweite Messung (Vor dem Experiment) <i>M (SD)</i>	<i>p</i>
Intrinsische Motivation und Interesse (Gesamt)	3.57 (1.09)	4.29 (.50)	<.01
Intrinsische Motivation und Interesse (<i>nur</i> Items zur Korrelationsrechnung)	3.57 (1.09)	4.63 (.41)	<.01
Intrinsische Motivation und Interesse (<i>nur</i> Items zur Lernumgebung/zum Experiment)	<i>nicht erhoben</i>	3.95 (.77)	

Hinsichtlich des themenspezifischen Selbstkonzepts bestehen ebenfalls keine statistisch bedeutsamen Unterschiede zwischen den Probanden der beiden Experimentalgruppen. Im Gegensatz zur intrinsischen Motivation hat sich das themenspezifische Selbstkonzept der Probanden gegenüber der ersten Messung jedoch nicht bzw. nur minimal verändert. Für die 20 Probanden, die an beiden Messungen teilgenommen haben, ergibt sich ein $M_{\text{zweite Messung}}$ von 3.62 gegenüber einem $M_{\text{erste Messung}}$ von 3.83 ($t(18) = -.97, n. s.$).

6.1.3 Realisierte Lernzeit

Die zur Orientierung vorgegebene maximale Lernzeit von drei Stunden hat keiner der Probanden voll ausgeschöpft. Die maximale Bearbeitungszeit in der Gruppe ohne metakognitives Prompting betrug 2h 45min 40s und in der Gruppe mit Prompting 2h 21min 20s. Zwischen den Probanden der beiden Gruppen besteht ein geringfügiger, statistisch nicht bedeutsamer mittlerer Lernzeitunterschied von 6min und 18s (siehe Tabelle 6.1.3.1). Die Korrelation zwischen der Lernzeit und dem im Nachtest ermittelten Lernerfolg für die Gesamtgruppe der Lernenden ist nahe Null ($r = .02$, *n. s.*). Auch innerhalb der einzelnen Experimentalgruppen bestehen keine Zusammenhänge zwischen Lernzeit und Lernerfolg (siehe Tabelle 6.1.3.1).

Tabelle 6.1.3.1: Realisierte Lernzeit (in h:min:s) und Zusammenhang zwischen Lernzeit und Lernerfolg für beide Lernbedingungen. Mittelwerte (Standardabweichung in Klammern), Korrelationen und Ergebnisse der Signifikanzprüfung.

	Lernzeit		Zusammenhang zwischen Lernzeit und Lernerfolg	
	<i>M (SD)</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
EG 1 (mit <i>Prompting</i>)	1:08:28 (27:18)	<i>n.s.</i>	-.03	<i>n.s.</i>
EG 2 (ohne <i>Prompting</i>)	1:14:47 (29:02)	<i>n.s.</i>	.00	<i>n.s.</i>

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass „time on task“ kein relevanter Faktor für den Lernerfolg zu sein scheint:

Das Problem einer Konfundierung von Lernzeit und Lernbedingung, das die Interpretation instruktionaler Effekte in etlichen Untersuchungen zum

beispielbasierten Lernen erschwert (vgl. Stark, 1999), stellt sich hier nicht. Darüber hinaus besteht auch innerhalb der beiden Experimentalgruppen kein Zusammenhang zwischen Lernzeit und Leistung im Nachtest.

6.2 Einfluss der Lernumgebung und des metakognitiven *Prompting* auf den Lernerfolg (Ergebnisse zu den Fragen 4. 1.1 bis 4.1.4)

Im Folgenden wird zunächst die Frage beantwortet, inwieweit die Lernumgebung *Koralle* den Wissenserwerb zum Korrelationsbegriff fördert. Außerdem wird die Stabilität der beim Lernen mit *Koralle* erzielten Effekte überprüft. Danach steht die Frage nach dem Erfolg der metakognitiven Prompts und deren Stabilität im Mittelpunkt der Untersuchung. Abschließend wird geprüft, inwiefern sich die unterschiedlichen Lernbedingungen (mit vs. ohne metakognitives *Prompting*) auf Aspekte der Motivation auswirken.

6.2.1 Einfluss der Lernumgebung auf den Lernerfolg (Fragen 4.1.1 und 4.1.2)

Die Aufgaben 1 und 2 im Vorwissenstest waren identisch mit den Aufgaben 1 und 3 im Nachtest bzw. in der Follow-up Messung, für die derselbe Test verwendet wurde wie unmittelbar nach der Bearbeitung der Lernumgebung. Inwieweit die Lernumgebung den Wissenserwerb zum Korrelationsbegriff fördert, soll daher zunächst anhand des Lernfortschritts bei der Bearbeitung dieser Aufgaben geprüft werden. Um Effekte der Lernumgebung auf den Wissenserwerb zu untersuchen, werden außerdem die beiden Lernbedingungen (mit metakognitivem und ohne metakognitives *Prompting*) erst einmal zusammengefasst.

Die Leistungen der Probanden vor Beginn der Lernphase liegen *deutlich* unter den Ergebnissen der nachfolgenden Messungen unmittelbar nach der Lernphase ($d = 0,98$ bis $d = 1,36$) und 4 Wochen danach ($d = 0,82$ bis $d = 1,87$).

Sämtliche überprüften Mittelwertsunterschiede sind statistisch bedeutsam. Die Leistungen im Nachtest sind zudem homogener (siehe Tabelle 6.2.1.1).

Die geringfügigen Leistungssteigerungen im Follow-up sind auf die gegenüber dem Experiment verringerte Anzahl an Teilnehmern zurückzuführen. Hält man die Probandenzahl über die Messzeitpunkte konstant ($n = 34$) ergibt sich dasselbe Bild: Der Faktor Messwiederholung erweist sich bei einer einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung als signifikant ($p < .01$). Paarweise Vergleiche zwischen der vorab durchgeführten Messung mit den jeweiligen nachfolgenden Messungen ergeben signifikante Mittelwertsunterschiede ($p < .01$, α -Korrektur nach Bonferroni). Das gilt sowohl für den Summenscore aus den beiden Aufgaben A1 und A2 bzw. A1 und A3 als auch für die jeweiligen Einzelergebnisse. Die erreichten Effektstärken für den Faktor Messwiederholung liegen wiederum im Bereich großer Effekte ($f = 0.74$ bis $f = 1.56$).

Tabelle 6.2.1.1: Vortest-Nachtest und Vortest-Follow-up über beide Lernbedingungen. Stichprobengröße, Mittelwerte (Standardabweichung in Klammern), Effektstärken und Ergebnisse der Signifikanzprüfung.

	Vorab ($n = 57$)	Nach der Lernphase ($n = 57$)		Follow-up ($n = 34$)	
	<i>M</i> (<i>SD</i>)	<i>M</i> (<i>SD</i>)	<i>d</i>	<i>M</i> (<i>SD</i>)	<i>d</i>
A1 + 2 (Vortest) bzw. A1 + 3 (Nachtest)	2.75 (1.33)	4.11 (1.20)	1.36	4.12 (.98)	1.87
A1 (Vortest) bzw. A1 (Nachtest)	1.04 (.74)	1.61 (.73)	.98	1.46 (.60)	.82
A2 (Vortest) bzw. A3 (Nachtest)	1.71 (.97)	2.50 (.81)	1.20	2.66 (.75)	1.37

Vorab vs. Nach der Lernphase: $p < .01$ (für alle Mittelwertsvergleiche)

Vorab vs. Follow-up: $p < .01$ (für alle Mittelwertsvergleiche)

Einen weiteren Beleg für die Effektivität der Lernumgebung *Koralle* liefert der Vergleich der Leistungen der Probanden der Experimentalgruppen mit den Leistungen von 67 Teilnehmern der Methodenvorlesung im Follow-up. Die als eine Art Kontrollgruppe fungierenden Vorlesungsteilnehmer, die nicht mit der Lernumgebung gelernt hatten, erzielten im Mittel knapp 5 Punkte (und damit knapp 25 Prozent der im Test maximal zu erreichenden Punktzahl) weniger als die Studenten, die vier Wochen zuvor *Koralle* bearbeitet hatten (Experimentalgruppen: $M = 11.02$, $SD = 2.76$; Kontrollgruppe: $M = 6.05$, $SD = 1.68$). Dieser Mittelwertsunterschied ist statistisch bedeutsam und substanziell ($t(99) = -11.21$, $p < .01$, $d = 2.17$).

Lässt sich dieser Befund zugunsten von *Koralle* verbuchen? Es handelt sich zwar bei der Kontrollgruppe nicht um eine „echte“ randomisierte Kontrollgruppe, aber wie sich herausgestellt hat (siehe Kapitel 6.1.1) unterscheiden sich die Probanden dieser Gruppe in ihren kognitiven, metakognitiven oder motivationalen Lernvoraussetzungen nicht von den Probanden der Experimentalgruppen. Dieser Umstand gibt guten Grund zu der Annahme, dass der Leistungsvorsprung der Probanden der Experimentalgruppen tatsächlich auf das Bearbeiten der Lernumgebung zurückzuführen ist.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass durch das Bearbeiten der Lernumgebung *Koralle* der Wissenserwerb substanziell und signifikant gefördert werden konnte. Der erzielte Lernfortschritt war außerdem nach vier Wochen noch stabil.

Kritisch anzumerken bleibt, dass sich die Beurteilung des Lernfortschritts als substanziell auf verteilungsbasierte Effektstärkemaße stützt. Diese liefern strenggenommen jedoch keinen Hinweis auf die Qualität des erzielten Lernfortschritts. Diese muss nach inhaltlichen Überlegungen bestimmt werden. Aus diesem Grund wurde vorab, auf der Grundlage definierter Lehrziele für jede Aufgabe ein Kriterium formuliert, das darüber Auskunft gibt, welche

Bestandteile eine Lösung beinhalten sollte, um mit "Lernziel erreicht" qualifiziert werden zu können. So muss z. B. aus einer Lösung zu Aufgabe 1 ("Was misst der Korrelationskoeffizient?") mindestens hervorgehen, dass der Korrelationskoeffizient ausschließlich auf lineare Zusammenhänge anzuwenden ist, ansonsten erfüllt sie das Kriterium nicht. Eine vollständige Auflistung der Kriterien findet sich zusammen mit einem Auswertungsschema im Anhang.

Eine derart durchgeführte Aufgabenanalyse ergibt folgendes Bild: Für die in Vor- und Nachtest identischen Aufgaben lässt sich ein deutlicher Lernfortschritt feststellen. Der Anteil der mit „Lernziel erreicht“ qualifizierten Lösungen stieg um 26 Prozent bei Aufgabe 1 und um 35 Prozent bei Aufgabe 2 bzw. 3 (siehe Abbildung 6.2.1.1). Bei beiden Aufgaben sind die Zuwächse signifikant ($p < .01$).

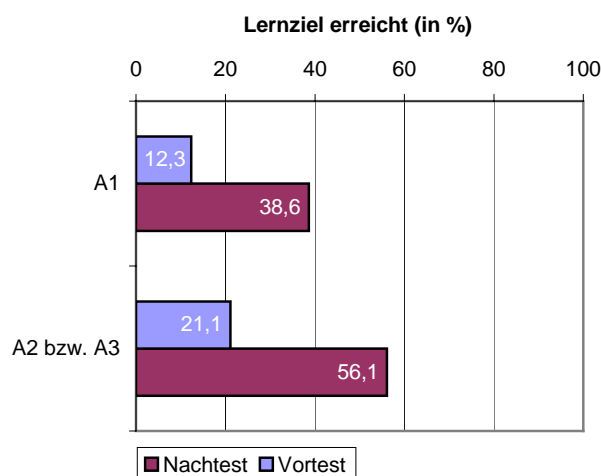


Abbildung 6.2.1.1: Vergleich Vortest-Nachtest über beide Lernbedingungen. Anteil der Probanden, deren Aufgabenlösung mit "Lernziel erreicht" eingestuft wird (in Prozent).

Darüber hinaus wurden auch die Nachtestaufgaben analysiert, denen keine Aufgabe im Vortest entspricht. Dabei zeigt sich, dass bis auf Aufgabe 1 alle Nachtestaufgaben von annähernd 50 Prozent oder mehr der Probanden im

Sinne von „Lernziel erreicht“ gelöst werden konnten (siehe Abbildung 6.2.1.2). Das vergleichsweise schlechtere Abschneiden der Probanden bei Aufgabe 1 ist ein Beleg dafür, dass mit der Lernumgebung *Koralle* erwartungsgemäß vor allem der Erwerb mentaler Modelle und die Wissensanwendung gefördert werden, weniger dagegen das Behalten von Fakten bzw. Propositionen.

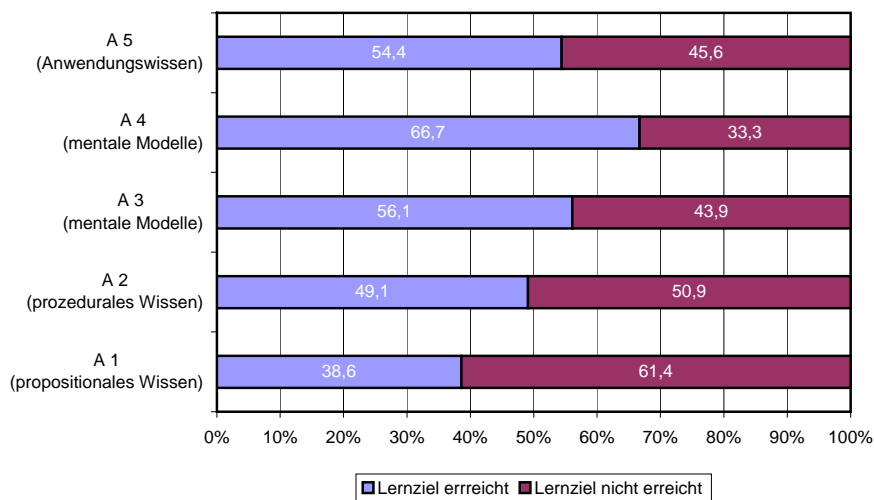


Abbildung 6.2.1.2: Nachtestleistungen über beide Lernbedingungen. Anteil der Probanden, deren Aufgabenlösungen mit „Lernziel erreicht“ bzw. „Lernziel nicht erreicht“ eingestuft wurde (in Prozent).

Ferner ergibt die Analyse des Nachtests, dass 33 Probanden (58 Prozent) mindestens drei der fünf Nachtestaufgaben erfolgreich lösten. Umgekehrt bedeutet dies, dass immerhin 24 Lernende (42 Prozent) den Nachtest weniger erfolgreich bewältigten, fünf (9 Prozent) davon konnten sogar keine einzige Aufgabe zufriedenstellend bearbeiten (siehe Abbildung 6.2.1.3). Da dieses Ergebnis für Lernende aus beiden Lernbedingungen zusammen ermittelt wurde, stellt sich die Frage, ob und inwieweit Lernende, die mit metakognitiver Unterstützung arbeiteten, erfolgreicher lernen.

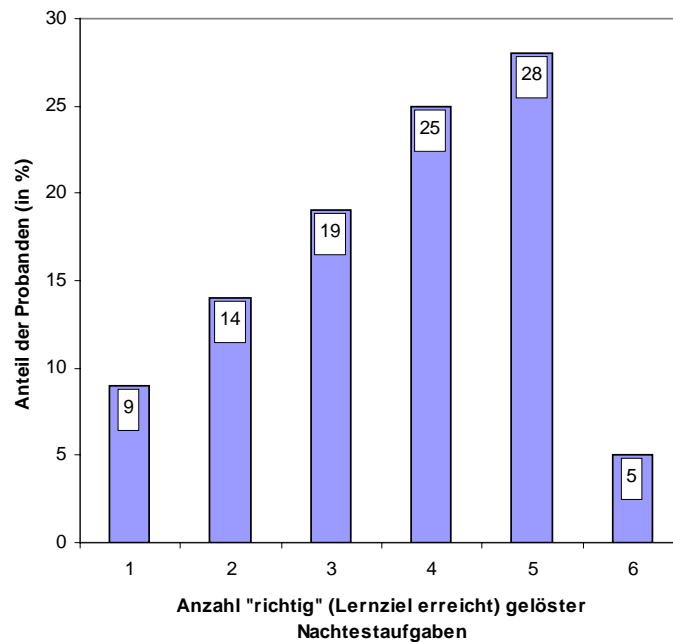


Abbildung 6.2.1.3: Anteil der von den Probanden richtig gelösten Nachtestaufgaben (in Prozent).

Zunächst kann festgehalten werden: Die inhaltliche Analyse bestätigt weitgehend das Ergebnis der (rein) quantitativen Untersuchung. Mit der Lernumgebung *Koralle* lässt sich der Wissenserwerb zum Korrelationsbegriff signifikant und substanziell im Sinne qualitativer Kriterien fördern. Mit Ausnahme der Frage zum propositionalen Wissen (Aufgabe 1) wurden die Aufgaben von der Mehrheit der Lernenden zufriedenstellend gelöst und damit die jeweiligen Lernziele erreicht. Mehr als die Hälfte aller Lernenden erfüllte bei mindestens drei von fünf Aufgaben die vorab definierten Kriterien und konnte damit einen qualitativen Lernfortschritt erzielen.

6.2.2 Einfluss des metakognitiven *Prompting* auf den Lernerfolg (Fragen 4.1.3 und 4.1.4)

Um den Einfluss der Unterstützungsmaßnahme auf die Lernleistung zu bestimmen, werden zuerst wiederum die Ergebnisse quantitativer Analysen dargestellt. Danach werden die beiden Lernbedingungen hinsichtlich der Qualität des erreichten Lernerfolgs verglichen.

Tabelle 6.2.2.1: Lernerfolg im Nachtest und im Follow-up (theoretisches Maximum jeweils 20 Punkte) für beide Lernbedingungen. Stichprobengrößen, Mittelwerte (Standardabweichung in Klammern), Effektstärken und Ergebnisse der Signifikanzprüfung.

	EG 1	EG 2	KG
	(mit <i>Prompting</i>)	(ohne <i>Prompting</i>)	
	(<i>n</i> = 28)	(<i>n</i> = 29)	(<i>n</i> = 67)
	<i>M</i> (<i>SD</i>)	<i>M</i> (<i>SD</i>)	<i>M</i> (<i>SD</i>)
Lernerfolg (Nachtest)	13.03 (2.76)	11.03 (2.86)	--
Lernerfolg (Follow-up)	12.01 (2.39)	9.61 (2.71)	6.05 (1.68)
Nachtest: EG1 > EG2 ($d = .71, p < .01$)			
Follow-up: EG1 > EG2 ($d = .94, p < .05$)			
KG < EG1 ($d = 2.49, p < .01$)			
KG < EG2 ($d = 1.39, p < .01$)			

Aus Tabelle 6.2.2.1 geht hervor, dass Lernende mit metakognitiver Unterstützung unmittelbar nach Bearbeiten der Lernumgebung ($d = .71$) und vier Wochen danach ($d = .94$) *deutlich* und signifikant ($p < .01$ bei beiden Messungen) besser abschneiden als Lernende, die mit einer Lernumgebung ohne die implementierte Unterstützungsmaßnahme arbeiteten. Dennoch konnten auch letztere von der Arbeit mit der Lernumgebung profitieren, wie der

Vergleich mit der Kontrollgruppe zeigt. Deren Probanden erzielten im Mittel 3,5 Punkte weniger.

Bei beiden Messungen lagen weder Boden- noch Deckeneffekte vor. Den quantitativen Leistungsunterschieden zwischen den Probanden der beiden Lernbedingungen entsprechen auch qualitative Unterschiede (siehe Abbildung 6.2.2.1). Bei den Aufgaben 4 und 5 liegen die Probanden, die metakognitive Unterstützung erhielten, weit vorne (in beiden Fällen gilt: $p < .05$). Deutliche (wenngleich nicht-signifikante) Unterschiede lassen sich auch bei den Aufgaben 2 und 3 konstatieren. Lediglich Aufgabe 1 zum propositionalen Wissen differenziert nicht zwischen den beiden Lernbedingungen. Hier liefern Probanden mit und ohne metakognitive Hilfe gleichermaßen schlechte Ergebnisse.

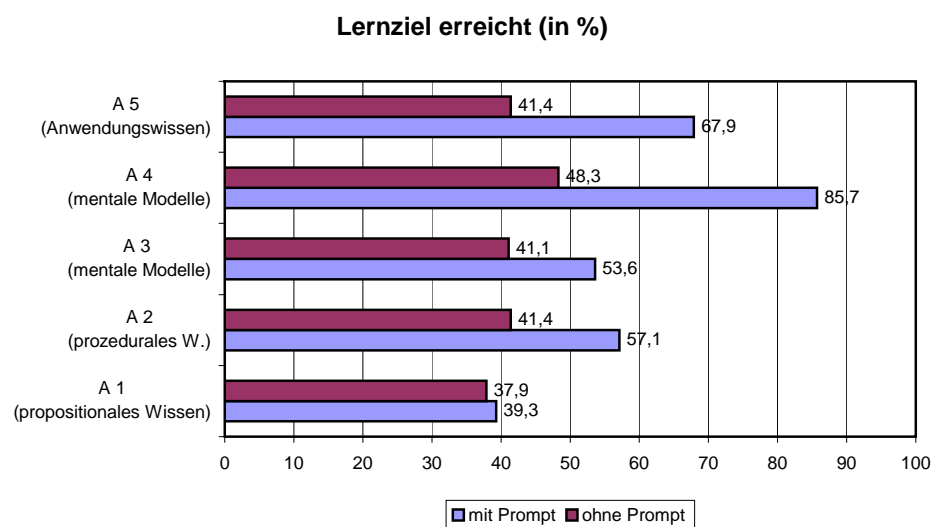


Abbildung 6.2.2.1: Vergleich der beiden Lernbedingungen hinsichtlich des erreichten Lernziels (in Prozent).

Der Nutzen der implementierten Unterstützungsmaßnahme zeigt sich auch darin, dass 75 Prozent (21) der Probanden, die damit arbeiteten, mindestens drei

der Aufgaben im Nachtest erfolgreich lösen konnten. In der Lernbedingung ohne metakognitives *Prompting* waren dies nur 41,3 Prozent (12) (siehe Abb. 6.2.2.2).

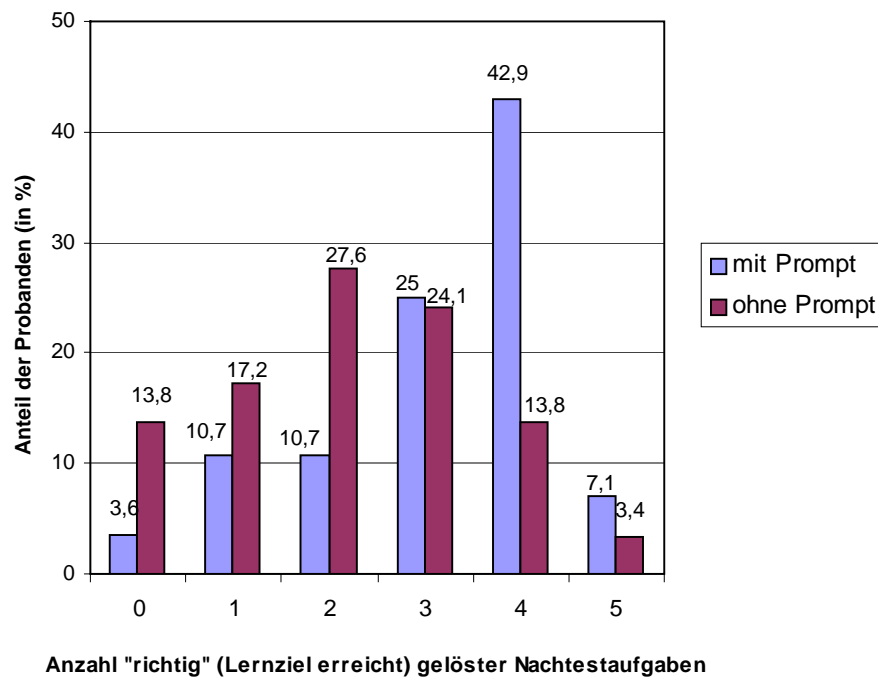


Abbildung 6.2.2.2: Vergleich der beiden Lernbedingungen: Anteil der von den Probanden richtig gelösten Nachtestaufgaben (in Prozent).

Der Leistungsunterschied zwischen den beiden Lernbedingungen erweist sich bei der Follow-up Messung auch unter qualitativen Gesichtspunkten als stabil. Statt den ursprünglichen 75 Prozent konnten immerhin noch 55 Prozent (12) der Probanden, die metakognitive Unterstützung erhielten, drei oder mehr Aufgaben erfolgreich lösen. Dies gelang nur noch 21,4 Prozent (3) der Probanden, deren Version von *Koralle* keine Unterstützungsmaßnahme enthielt. Drastisch fällt dagegen der Vergleich mit der Kontrollgruppe aus. Dort war

kein Proband in der Lage, mindestens drei Aufgaben im Sinne des jeweiligen Kriteriums zu lösen. 80,6 Prozent (54) der Probanden aus der Kontrollgruppe waren nicht imstande, auch nur eine einzige Aufgabe erfolgreich zu bearbeiten (siehe Abb. 6.2.2.3).

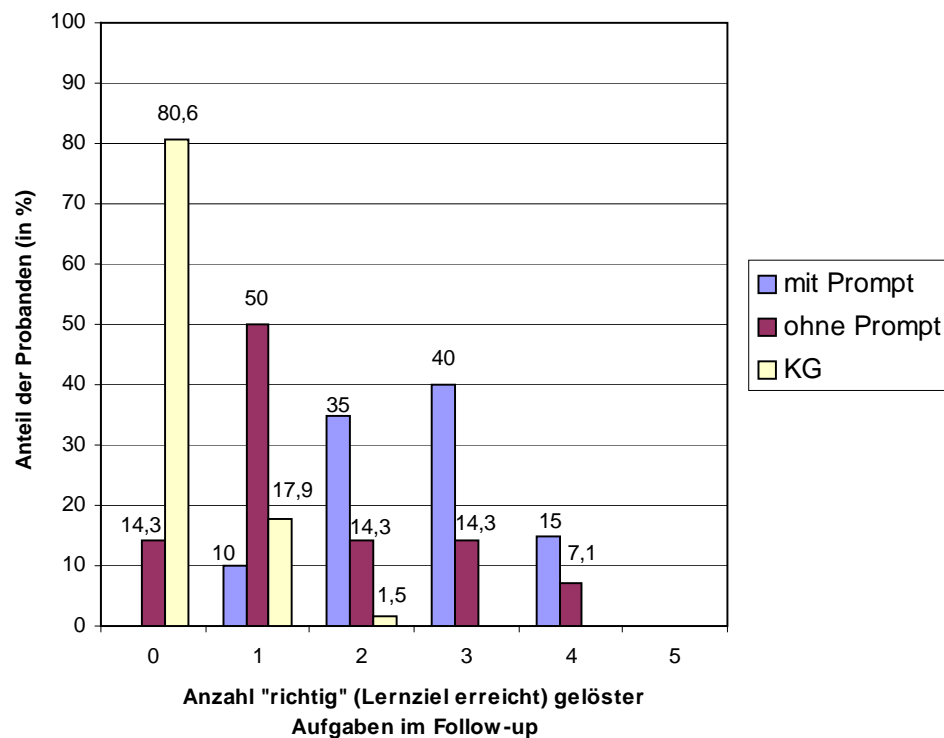


Abbildung 6.2.2.3: Vergleich der Lernbedingungen und der Kontrollgruppe: Anteil der von den Probanden richtig gelösten Nachtestaufgaben (in Prozent).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass zwischen den beiden Lernbedingungen substanzielle und signifikante Leistungsunterschiede bestehen, die auch nach vier Wochen stabil bleiben. Lernende, die mit metakognitiver Unterstützung arbeiteten, konnten in deutlich höherem Maße von der Lernumgebung *Koralle* profitieren. Dieses Ergebnis wird durch die qualitative Betrachtung bestätigt.

6.2.3 Zusammenfassung und Diskussion

Hypothesenkonform konnten die Lernenden mit *Koralle* einen substanziellen und zeitlich stabilen Wissenszuwachs sowohl in quantitativer als auch qualitativer Hinsicht erzielen. Es wurde weiterhin erwartet, dass der verwendete instruktionale Ansatz, das beispielbasierte Lernen, sich vor allem auf den Erwerb anwendbaren Wissens förderlich auswirken würde, zusätzlich implementierte instruktionale Maßnahmen wie Visualisierungen und der Einsatz von Streudiagrammen sollten bei der Aneignung mentaler Modelle hilfreich sein. Insoweit vor allem für diese beiden Wissensformen ein deutlicher Lernfortschritt verzeichnet werden konnte, wie die Analyse der einzelnen Aufgaben ergab, lassen sich diese Erwartungen bestätigen.

Der Erwerb anwendbaren Wissens und mentaler Modelle wurde darüber hinaus durch das metakognitive Prompting noch einmal zusätzlich gefördert. In diesem Punkt konvergieren die Ergebnisse mit Befunden aus anderen Promptingstudien (z. B. Bannert, 2003), die ebenfalls bei Aufgaben zum Transfer und weniger bei Aufgaben, welche Faktenwissen prüfen, einen Leistungszuwachs nachweisen konnten. Der nachhaltige Erfolg der eingesetzten Promptingmaßnahme bestätigt auch die Nützlichkeit von Prompts für das beispielbasierte Lernen in hypermedialen Lernumgebungen, wie vor kurzem noch Gerjets et al. (2005) zeigen konnten. In Übereinstimmung mit Lin und Lehmann (1999) sprechen die Ergebnisse außerdem für die Wirksamkeit von Begründungsprompts wie sie in *Koralle* zur Anwendung kamen.

6.3 Zum Wirkmechanismus des metakognitiven *Prompting* (Ergebnisse zu den Fragen 4.2.1 bis 4.2.4)

Nachdem im vorhergehenden Kapitel gezeigt werden konnte, dass das metakognitive *Prompting* den Wissenserwerb fördert, soll nun die Wirkungsweise dieser Maßnahme betrachtet werden. Erstens wird untersucht, ob das *Prompting* zu differenziellen Effekte bei Lernenden mit unterschiedlichen metakognitiven Kompetenzen führt. Insbesondere geht es dabei darum, ob Lernende metakognitive Defizite durch das metakognitive *Prompting* kompensieren können oder ob diese Maßnahme eher zu einer Erhöhung der Lernmotivation führt und auf diesem Weg einen besseren Lernerfolg ermöglicht. Von einer gelungenen metakognitiven Unterstützung wird erwartet, dass ihre Effekte nicht oder zumindest nicht überwiegend das Produkt motivationaler *Nebenwirkungen* sind. Zweitens wird möglichen motivationalen Wirkungen der Promptingmaßnahme durch einen Vergleich der Lernbedingungen hinsichtlich der abhängigen Motivationsvariablen nachgegangen. Drittens wird untersucht, ob sich Lernende, die metakognitive Unterstützung erhielten, im Nutzungsverhalten von anderen Lernenden unterscheiden. Die *motivationale* Frage wird dabei erneut aufgegriffen. Abschließend wird analysiert, auf welche Weise Lernende, die durch metakognitive *Prompts* dazu aufgefordert wurden, ihre Lernentscheidungen begründen.

6.3.1 Metakognitives Prompting und metakognitive Kompetenzen (Frage 4.2.1)

Um mögliche kompensatorische Effekte des metakognitiven *Prompting* aufzudecken, wurde zunächst untersucht, inwiefern das vorab erhobenen Lernermerkmal *metakognitive Kompetenz* mit der Promptingmaßnahme interagiert. Als Verfahren zur Darstellung bzw. statistischen Absicherung eines

solchen Interaktionseffekts böte sich eine Varianzanalyse mit den Faktoren *Lernbedingung* und *metakognitive Kompetenz* als unabhängige Variablen und der Nachtestleistung als abhängiger Variable an. Die intervallskalierte Variable *metakognitive Kompetenz* würde hierzu nach Durchführung eines Mediansplits in eine kategoriale Variable transformiert werden. Dieser Weg wurde jedoch nicht beschritten: Neben der Anwendung des Mediansplits und dem damit verbundenen Verlust an Information sprach vor allem gegen diese Vorgehensweise, dass ein zu erwartender mittlerer Interaktionseffekt erst ab einer Zellenbesetzung von 33 Probanden, insgesamt also 132 Probanden bei einem Signifikanzniveau von 5 Prozent signifikant würde. Aus ökonomischen Gründen war die Durchführung eines solchen Versuchplans nicht möglich.

Es wurde daher mit korrelations- bzw. regressionsanalytischen Mitteln überprüft, inwieweit sich für die Lernbedingung mit metakognitivem und ohne metakognitives *Prompting* unterschiedliche Zusammenhänge zwischen metakognitiver Kompetenz und der Leistung im Nachtest ergeben. Abbildung 6.3.1.1 zeigt das Streudiagramm der beiden Variablen und die Regressionsgeraden für die beiden Lernbedingungen. Daraus geht hervor, dass Lernende umso schlechtere Leistungen im Nachtest erzielen, je niedriger sie ihre metakognitiven Kompetenzen einschätzen – unter der Bedingung, dass sie keine metakognitive Unterstützung erhalten ($r = .64, p < .01$). Im anderen Fall dagegen besteht nahezu kein Zusammenhang zwischen Nachtestleistung und metakognitiver Kompetenz ($r = .19, n. s.$). Insbesondere können Lernende, die metakognitive Unterstützung erhalten, auch dann überdurchschnittliche Leistungen im Nachtest erzielen, wenn ihre metakognitiven Kompetenzen schwach sind. Da sich die jeweiligen Korrelationen signifikant voneinander unterscheiden ($r = .64 > r = .19, p < .05$) kann von einer statistisch bedeutsamen Interaktion zwischen dem Lernermerkmal metakognitive Kompetenz und der Promptingmaßnahme gesprochen werden.

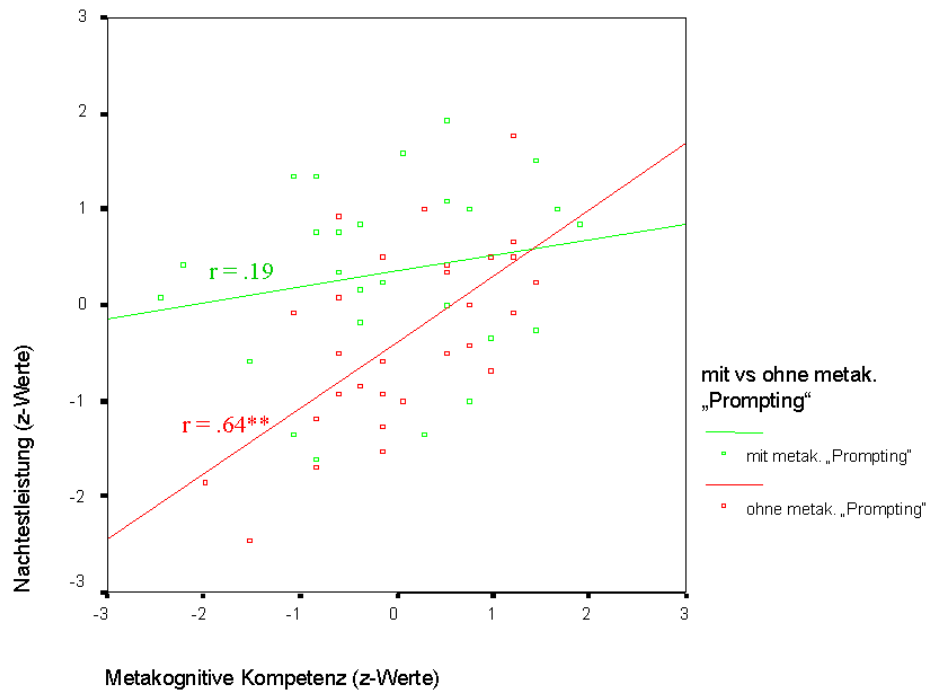


Abbildung 6.3.1.1: Korrelation von Nachtestleistung und metakognitiver Kompetenz in Abhängigkeit von der Lernbedingung.

Inwieweit lässt sich nun vom diesem Befund auf eine hinsichtlich metakognitiver Defizite kompensatorische Wirkung der Promptingmaßnahme schließen? Alternativ dazu steht die Annahme, dass das metakognitive *Prompting* eher zu motivationalen Effekten wie z. B. einer Erhöhung der Anstrengungsbereitschaft führt. Hier lassen sich zwei Fälle unterscheiden, die im Folgenden diskutiert werden:

Erstens, die Promptingmaßnahme wirkt auf alle Probanden gleichermaßen motivierend. In diesem Fall sollte sich jedoch unter der Lernbedingung ohne *Prompting* kein anderer Zusammenhang zwischen *metakognitiver*

Kompetenz und Nachtestleistung ergeben als unter der Lernbedingung mit *Prompting*. Genau das ist aber der Befund.

Zweitens, die Promptingmaßnahme führt bei unterschiedlichen Probanden zu unterschiedlichen Wirkungen. Beispielsweise könnte sie bei Probanden mit eher niedriger metakognitiver Kompetenz zu einem Motivationszuwachs führen, während sich bei Probanden mit eher hohen metakognitiven Fähigkeiten dieser Effekt nicht oder nur vermindert einstellt oder sogar ins Gegenteil verkehrt. Das erscheint plausibel, da man annehmen kann, dass sich eine Maßnahme zur metakognitiven Unterstützung auf Lernende, die bereits über hohe metakognitive Kompetenzen verfügen, eher störend auswirkt. Solche ungünstigen *Interferenzen* zwischen Lernermerkmalen und entsprechenden instruktionalen Maßnahmen konnten bereits für verschiedene andere Domänen nachgewiesen werden (vgl. Stark, 1999). In diesem Fall sollten Lernende mit hohen metakognitiven Fähigkeiten unter der Lernbedingung mit *Prompting* schlechter oder zumindest nicht besser abschneiden als unter der Bedingung ohne eine solche für sie potenziell störende Maßnahme. Das trifft jedoch nicht zu, wie das Streudiagramm zeigt. Auch Lernende mit hoher metakognitiver Kompetenz sind erfolgreicher, wenn sie metakognitive Unterstützung erhalten. Lediglich für den theoretisch existierenden Extrembereich (der außerhalb des Wertebereichs der Skala zur *metakognitiven Kompetenz* liegt) sagt das lineare Regressionsmodell umgekehrte Verhältnisse voraus.

Dennoch sind auch weniger offensichtliche Fälle denkbar, insbesondere solche, bei denen motivationale und metakognitive Einflüsse zusammen auftreten, miteinander oder mit anderen Variablen interagieren und komplexe Wirkungen hervorbringen. Diese Fälle auszuschließen, ist weder plausibel begründbar – motivationale und metakognitive Aspekte sind im Lerngeschehen meist eng miteinander verwoben – noch instruktional wünschenswert. Die Befundlage liefert jedoch Anhaltspunkte für die Annahme, dass es nicht

überwiegend motivationale Wirkungen sind, über die das metakognitive *Prompting* zu einem höheren Lernerfolg führt.

6.3.2 Einfluss des metakognitiven Prompting auf Aspekte der Motivation (Frage 4.2.2)

Unter beiden Lernbedingungen war die Akzeptanz der Lernumgebung eher hoch, die beiden Gruppen erreichten Mittelwerte von 4.80 ($SD = .80$) bzw. 4.90 ($SD = .50$) bei einem theoretischen Maximum von 6.00. Dieser geringfügige Unterschied war statistisch nicht bedeutsam ($t(53) = .48$, *n.s.*, $d = .13$).

Auch hinsichtlich der subjektiven Einschätzung des Lernerfolgs bestehen keine statistisch bedeutsamen Gruppenunterschiede ($t(53) = .90$, *n.s.*, $d = .24$). Probanden beider Lernbedingungen betrachten die Arbeit mit der Lernumgebung eher als erfolgreich (siehe Tabelle 6.3.2.1).

Auffallend ist außerdem die geringe Streuung der Werte in beiden Motivationsvariablen und unter beiden Lernbedingungen (siehe Tabelle 6.3.2.1). Offensichtlich erlebten die Probanden das Lernen mit der neuen Lernumgebung gleichermaßen als positiv.

Tabelle 6.3.2.1: Akzeptanz der Lernumgebung und subjektiver Lernerfolg (theoretisches Maximum jeweils: 6.00) in Abhängigkeit von der Lernbedingung. Mittelwerte (Standardabweichung in Klammern) und Ergebnisse der Signifikanzprüfung.

	Akzeptanz der Lernumgebung		Subjektiver Lernerfolg	
	<i>M (SD)</i>	<i>p</i>	<i>M (SD)</i>	<i>p</i>
mit <i>Prompting</i>	4.80 (.80)	<i>n.s.</i>	4.50 (.80)	<i>n.s.</i>
ohne <i>Prompting</i>	4.90 (.50)	<i>n.s.</i>	4.70 (.50)	<i>n.s.</i>

Es lässt sich also festhalten, dass die Betrachtung der abhängigen Motivationsvariablen weder negative noch positive motivationale Nebenwirkungen des metakognitiven *Prompting* erkennen lässt. Unabhängig von der Lernbedingung evoziert das Lernen mit *Koralle* günstige motivationale Effekte.

6.3.3 Einfluss des metakognitiven Prompting auf Aspekte des Nutzungsverhaltens (Frage 4.2.3)

Als adaptive Lernumgebung ermöglicht *Koralle* bestimmte Lernentscheidungen. Zum einen kann der Nutzer wählen, ob er eine Aufgabe zuerst selbst lösen möchte, dann bearbeitet er sie als Problemlöseaufgabe, oder ob er es vorzieht, gleich die Musterlösung zu sehen und sich mit dieser zu beschäftigen, dann bearbeitet er sie als Lösungsbeispiel. Zum anderen kann er wählen, ob er zu einem vorliegenden Aufgabentyp oder Thema eine zusätzliche Aufgabe erhalten möchte, die er wiederum als Problemlöseaufgabe oder als Lösungsbeispiel bearbeiten kann. Insgesamt gibt es sechs Pflicht- und ebenso viele optionale Aufgaben.

Wie Tabelle 6.3.3.1 zeigt, bearbeiteten Lernende, die metakognitives *Prompting* erhielten, von insgesamt sechs Pflichtaufgaben im Mittel 85 Prozent als Problemlöseaufgaben. Sie unterscheiden sich damit nur unwesentlich von den Lernenden, denen keine metakognitive Hilfe geboten wurde ($t(55) = -1.23$, *n. s.*).

Tabelle 6.3.3.1: Als Problemlöseaufgaben bearbeitete Pflichtaufgaben (theoretisches Maximum: 6.00) in Abhängigkeit von der Lernbedingung. Mittlere Anzahl (Standardabweichung in Klammern) und prozentualer Anteil der als Problemlöseaufgaben bearbeiteten Pflichtaufgaben und Ergebnis der Signifikanzprüfung.

Als Problemlöseaufgaben bearbeitete Pflichtaufgaben			
	<i>Mittlere Anzahl (SD)</i>	<i>%-Anteil</i>	<i>p</i>
mit <i>Prompting</i>	5.10 (1.10)	85	<i>n.s.</i>
ohne <i>Prompting</i>	4.60 (2.00)	76	

Auch im Hinblick auf die zusätzlich bearbeiteten Aufgaben unterscheiden sich die Lernenden beider Gruppen nicht ($t(55) = .04$, *n. s.*). Bei deskriptiver Betrachtung hatten Probanden, die mit metakognitivem *Prompting* arbeiteten, von den zusätzlichen Aufgaben im Mittel etwas mehr Problemlöseaufgaben bearbeitet (dieser Unterschied wird jedoch nicht signifikant, $t(55) = -1.13$, *n. s.*; siehe Abbildung 6.3.3.2).

Tabelle 6.3.3.2: Insgesamt und als Problemlöseaufgaben bearbeitete zusätzliche Aufgaben (theoretisches Maximum: 6.00) in Abhängigkeit von der Lernbedingung. Mittlere Anzahl (Standardabweichung in Klammern) und Ergebnis der Signifikanzprüfung.

Zusätzlich bearbeitete Aufgaben				
	Insgesamt bearbeitet		Als Problemlöse- aufgabe bearbeitet	
	<i>Mittlere Anzahl (SD)</i>	<i>p</i>	<i>Mittlere Anzahl (SD)</i>	<i>p</i>
mit <i>Prompting</i>	1.60 (1.10)	<i>n.s.</i>	1.40 (1.20)	<i>n.s.</i>
ohne <i>Prompting</i>	1.60 (1.60)		1.00 (1.40)	

Die Anzahl bearbeiteter Problemlöseaufgaben bzw. zusätzlicher Aufgaben lässt sich als Indikator für die *extensive* Nutzung der Lernumgebung betrachten. Im Gegensatz dazu stellt die Lernzeit bei ansonsten gleicher *extensiver* Nutzung gewissermaßen einen Indikator für die *intensive* Nutzung der Lernumgebung dar (wobei *intensive* Nutzung im hier verwendeten Sinne nicht *notwendig* eine zielführende und tiefe gedankliche Durchdringung des Lernmaterials impliziert. Das erfordert im Allgemeinen neben motivationalen Ressourcen eben auch kognitive und metakognitive Fähigkeiten). Hätte nun das metakognitive *Prompting* tatsächlich überwiegend motivationale Effekte, dann sollte sich dies auch im Nutzungsverhalten niederschlagen. Insbesondere wäre zu erwarten, dass höhere Lernmotivation zu einer *extensiveren* und/oder *intensiveren* Nutzung führt. Im Widerspruch dazu liefern die Ergebnisse jedoch keine Anhaltspunkte dafür, dass sich die Lernenden beider Lernbedingungen im *extensiven* oder *intensiven* Nutzungsverhalten (siehe dazu Kapitel 6.1.3 zur realisierten Lernzeit) unterscheiden.

6.3.4 Begründung von Lernentscheidungen unter metakognitivem *Prompting* (Frage 4.2.4)

Um einen direkteren Einblick in die Wirkungsweise der Promptingmaßnahme zu gewinnen, wurde analysiert, wie die Lernenden mit metakognitivem *Prompting* ihre Lernentscheidungen begründeten. Zu diesem Zweck wurde das an einer Teststichprobe induktiv erzeugte Kategorienschema auf die in schriftlicher Form vorliegenden Begründungen angewendet und dabei geringfügig modifiziert (siehe Kapitel 5.4). Eine Begründung, d. h. eine in ein Eingabefeld des metakognitiven *Prompting* schriftlich eingetragene Antwort fiel maximal unter zwei verschiedene Begründungskategorien.

Abbildung 6.4.3.1 zeigt die absoluten Häufigkeiten, mit denen die verschiedenen Begründungskategorien vergeben wurden. Keine Begründungen

oder Nonsense-Antworten haben Lernende nur in sechs Fällen gegeben. Das spricht für die hohe Akzeptanz der Maßnahme.

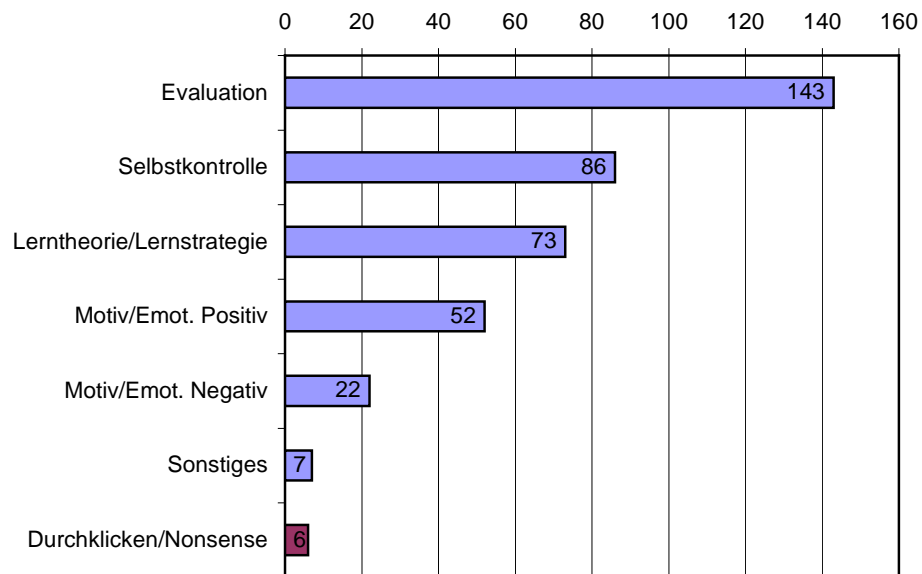


Abbildung 6.4.3.1: Absolute Häufigkeiten für die verschiedenen Begründungskategorien.

Mit Abstand am häufigsten (143) enthielten die Begründungen der Lernenden Evaluationen der vorangegangenen Lernergebnisse. Neun davon beinhalteten eine gründliche Fehlerdiagnose. In 86 Fällen lagen Überlegungen zur Selbstkontrolle, wie z. B. die Absicht, das eigene Wissen zu prüfen, vor. In 73 Begründungen nahmen Lernende implizit oder explizit Bezug auf eine Lernstrategie oder eine Lerntheorie. Insgesamt machen Begründungskategorien, die spezifisch metakognitive Aktivitäten anzeigen, 77,6 Prozent aller Kodierungen (389) aus. Kategorien für motivationale Begründungen wurden dagegen nur in 19 Prozent der Fälle vergeben. Dabei überwiegen *positive* Motive/Emotionen, die in 52 Fällen als Gründe für Lernentscheidungen

angegeben wurden, deutlich vor *negativen*, die nur 22 mal kodiert wurden. Negative motivationale Effekte traten darüber hinaus erwartungsgemäß überwiegend gegen Ende des Bearbeitens der Lernumgebung auf. Dies war also dann der Fall, wenn bereits genügend potenziell negative Lernerfahrungen oder auch Ermüdungserscheinungen aufgetreten sein konnten.

Es lässt sich festhalten, dass Lernende, die durch die Promptingmaßnahme dazu aufgefordert wurden – von wenigen Ausnahmen abgesehen – Lernentscheidungen sinnvoll und überlegt begründet haben (*Mindfulness*). Des Weiteren legen die Ergebnisse nahe, dass es überwiegend metakognitive Kontrollaktivitäten (Evaluation und Selbstkontrolle) waren, die durch das metakognitive *Prompting* angestoßen wurden. Zwar lässt sich auch das Nachdenken über bzw. Denken an motivationale und emotionale Zustände insbesondere im Kontext einer Begründungsaufforderung als metakognitive Aktivität in einem weiteren Sinne auffassen, etwa im Sinne der von Hasselhorn (1992, 1998, 2003) vorgeschlagenen Subkategorie *epistemisches Wissen*, der auch das Wissen über die eigene aktuelle Lernbereitschaft zugeordnet ist. Eigene motivationale Prozesse *angemessen* in Lernentscheidungen einzu-beziehen ist ein Merkmal rationalen kompetenten Lernens. Dennoch war es in erster Linie Zweck der Promptingmaßnahme, Lernende dazu zu bringen, die kognitiven Aspekte, ihrer Lernaktivitäten zu reflektieren. Denn gerade hier bestehen Defizite.

Post hoc wurden Zusammenhänge zwischen der Art und Weise, Lernentscheidungen zu begründen und metakognitiver Kompetenz einerseits und dem Lernerfolg andererseits exploriert.

Begründungen und metakognitive Kompetenz: Die Verwendung von Lerntheorien/allgemeinen Lernstrategien korrelierte mit $r = .5$ ($p < .05$, ohne α -Korrektur) mit der Kompetenzeinschätzung der Lernenden. Begründungen, die

den Kategorien Evaluation und Selbstkontrolle zugeordnet waren, korrelierten dagegen nur schwach bzw. nahe Null mit dieser Variablen.

Dieser Befund ist insofern nicht erstaunlich, als durch die Promptingmaßnahme eben gerade evaluatorische Prozesse und Überlegungen zur Selbstkontrolle in weitem Umfang und bei allen Lernenden aktiviert wurden. Die entsprechenden Begründungskategorien können somit nicht mehr zwischen den Lernenden mit hoher bzw. niedriger metakognitiver Kompetenz differenzieren.

Des Weiteren korrelierten auch alle übrigen Begründungskategorien einschließlich der beiden *motivationalen* Kategorien schwach oder nahe Null mit der Kompetenzeinschätzung.

Insgesamt also scheinen sich Unterschiede in der metakognitiven Kompetenz der Lernenden nur in der Begründungskategorie „Lerntheorien/ Lernstrategien“ abzubilden. Da die reflektierte Anwendung von Lernstrategien bzw. Lerntheorien ein Merkmal metakognitiver Kompetenz darstellt, mag ist dieses Ergebnis als Hinweis darauf werten, dass die verwendete Skala zur metakognitiven Selbsteinschätzung tatsächlich Indikatorfunktion für objektiv bestehende metakognitive Kompetenz hat.

Begründungen und Lernerfolg: Sämtliche Korrelationen zwischen den verschiedenen Begründungskategorien und dem im Nachtest gemessenen Lernerfolg waren schwach oder nahe Null (die *stärkste* Korrelation besteht zwischen der Kategorie „positive Motivation/Emotion“ und dem Lernerfolg und beträgt $r = -.1$). Dennoch zeigen die Daten eine Auffälligkeit: Von den 14 Probanden, deren Lernerfolg unter dem Median (13,25 Punkte) der Nachtestleistung lag, ließen sich sieben Personen einer der beiden Motivationskategorien als jeweils zweithäufigste und einem Probanden als ersthäufigste Kategorie zuordnen. Bei den 13 Probanden, die den Median überschritten, waren es dagegen nur zwei bzw. einer, dessen Begründungen sich am zweit- bzw. ersthäufigsten in dieser Kategorie abbildeten. Unter

Verwendung der Korrelationstechnik, die nicht die relativen, sondern nur die absoluten Auftretenshäufigkeiten der Begründungskategorien berücksichtigt, wird dieser Befund nicht sichtbar. (Da es sich hier um eine post-hoc-Analyse handelt, wurde im übrigen auf die Anwendung inferenzstatistischer Mittel verzichtet.) Das könnte ein Indiz dafür sein, dass es für Lernende weniger zielführend und dem Lernerfolg eher abträglich ist, motivationalen und/oder emotionalen Zuständen im Rahmen von Lernentscheidung zu viel Gewicht zu geben.

6.3.5 Zusammenfassung und Diskussion

Im Mittelpunkt dieses Kapitels stand die Frage nach der Wirkungsweise des metakognitiven *Prompting*. Insbesondere sollte geklärt werden, ob es nicht metakognitive, sondern überwiegend motivationale Effekte sind, die durch das *Prompting* hervorgebracht werden.

Am eindeutigsten widersprechen der korrelations- bzw. regressionsanalytische Befund dieser Vermutung. Dagegen spricht auch, dass sich Lernende beider Lernbedingungen nicht in den abhängigen Motivationsvariablen unterscheiden. Ganz ähnlich ist es um das Nutzungsverhalten und die Lernzeit bestellt, die sich unter bestimmten Voraussetzungen als Indikatoren für das Wirken motivationaler Faktoren werten lassen, wie oben vorgeschlagen wurde. Allerdings ist der begründungstheoretische Status der Befunde zum Nutzungsverhalten und der Lernzeit nicht unproblematisch. Zum einen stellen die Aufgabenwahl und die verwendete Lernzeit nur einen Aspekt der Nutzung einer Lernumgebung dar, andere Aspekte, insbesondere kognitive Variablen wie Aufmerksamkeit, Konzentration oder Gründlichkeit bilden sich darin nur unvollständig ab. Somit lässt sich auch nicht ausschließen, dass eine Erhöhung der Motivation in einer Veränderung dieser Größen zum Ausdruck kam und somit unentdeckt blieb. Zum anderen lässt sich mit den Befunden zum Nutzungsverhalten auch gegen eine *metakognitive* Wirkung der Prompting-

maßnahme argumentieren. So stellt sich die Frage, ob sich eine im Hinblick auf metakognitive Prozesse kompetentere Nutzung der Lernumgebung nicht auch in unterschiedlichem Nutzungsverhalten niederschlagen sollte. Hier lässt sich allerdings einwenden, dass es ein in metakognitiver Hinsicht *absolut* überlegenes Nutzungsverhalten nicht gibt, sondern – wenn überhaupt – kann Nutzungsverhalten nur *relativ* zu situationalen Faktoren und spezifischen Lernvoraussetzungen sinnvollerweise als kompetent oder weniger kompetent beurteilt werden.

Noch weniger eindeutig stellt sich die Befundlage zu den *Begründungen* dar. Deren Status ist unklar, insbesondere ist offen, ob bzw. inwieweit die Begründungen der Lernenden im Hinblick auf deren Lernentscheidungen kausal relevant waren. Hat die Art und Weise, Lernentscheidungen zu begründen, Einfluss auf die Lernentscheidung oder wurden z. B. bereits getroffene Lernentscheidungen lediglich im Nachhinein gerechtfertigt. Diese Frage ist jedoch nicht von Belang, wenn es darum geht, ob durch die Promptingmaßnahme tatsächlich metakognitive Aktivitäten angeregt wurden, denn auch eine im Nachhinein formulierte Begründung kann eine metakognitive Aktivität darstellen und sich als solche günstig auf das Lerngeschehen auswirken. (Oben wurde bereits darauf hingewiesen, dass sich im Kontext einer Begründung auch der Rekurs auf einen motivationalen Zustand als eine metakognitive Aktivität auffassen lässt. In dieser Sicht stellt im Grunde *jede* Begründung von Lernentscheidungen per se eine metakognitive Aktivität dar.) Nebenbei bemerkt kann auch nicht davon ausgegangen werden, dass sich die durch das *Prompting* geweckten metakognitiven Denkvorgänge eins-zu-eins in der schriftlich abgegebenen Begründung abbilden. Möglich und außerdem instruktional wünschenswert wäre, dass die Begründungen lediglich die „Spitze des Eisbergs“ an spezifischen und unspezifischen metakognitiven Prozessen darstellen, die durch diese Maßnahme in Gang gesetzt wurden – z. B. im Sinne einer Erhöhung der allgemeinen metakognitiven Sensitivität. Für die

Frage, ob durch das *Prompting* tatsächlich metakognitive Aktivitäten angestoßen wurden, ist es daher von größerer Bedeutung, dass die Intention der Promptingmaßnahme nur in extrem wenigen Fällen von den Lernenden durch *Durchklicken* oder Nonsense-Antworten unterlaufen wurde.

Insgesamt lässt sich also resümieren, dass das metakognitive *Prompting* überwiegend in der instruktional erwünschten, nämlich metakognitiven Richtung seine Wirkung entfaltete. Zumindest lässt sich unter dieser Interpretation ein kohärentes Bild der unterschiedlichen Befunde entwerfen.

6.4 Zusammenhang von Lernermerkmalen mit Lernprozess und Lernerfolg (Ergebnisse zu den Fragen 4. 3.1 bis 4.3.4)

Im folgenden Kapitel wird der Versuch unternommen, abseits vom experimentellen Design der Studie verschiedene Konstellationen von Lernermerkmalen zu identifizieren und deren Zusammenhang mit Aspekten des Lernprozesses und der Lernleistung zu explorieren. Damit wird an die im Rahmen der Evaluation von *NetBite* durchgeführten Studien von Stark. (z. B. Stark & Mandl, 2002) angeknüpft, um weiteren Aufschluss über den Einfluss von Lernermerkmalen auf Lernprozess und Lernerfolg zu erhalten. In methodischer Hinsicht wird in der nachfolgenden Untersuchung eine explorative Vorgehensweise mit anschließender Signifikanztestung kombiniert.

6.4.1 Identifikation verschiedener Merkmalsprofile (Frage 4.3.1)

Um homogene Untergruppen von Lernenden in Abhängigkeit von verschiedenen Lernvoraussetzungen zu identifizieren, wurde eine hierarchische Clusteranalyse nach der *Ward*-Methode durchgeführt und die gefundene Lösung mit dem nicht-hierarchischen *k-means*-Verfahren optimiert. Folgende Variablen wurden dabei berücksichtigt:

-
- Vorwissen zum Korrelationsbegriff (Vorwissenstest)
 - Intrinsische Motivation und Interesse (Skala)
 - Selbsteinschätzung der metakognitiven Kompetenz (Skala)
 - Themenspezifisches Selbstkonzept (Skala)

Um Varianzunterschiede zwischen den einzelnen Variablen auszugleichen, wurden diese vorab z-standardisiert. Der Anhang zeigt das aus der Anwendung der *Ward*-Methode resultierende Dendrogramm, das eine Vierer-Clusterlösung nahe legt. Abbildung 6.4.1.1 schließlich stellt die aus der nachfolgenden Anwendung der k-means-Methode resultierenden vier Gruppen als z-standardisierte Profilverläufe dar.

Die Verteilung der Lernenden auf diese Gruppen war bis auf Profil 3 mit nur 9 Probanden gleichmäßig. Die Häufigkeit, mit denen die vier Merkmalsprofile in den unterschiedlichen experimentellen Bedingungen auftraten, unterschieden sich nicht signifikant ($\chi^2(3, N = 57) = 3.4, n. s.$).

Es gibt demnach keinen Hinweis auf eine Konfundierung von experimenteller Bedingung und Merkmalsprofil.

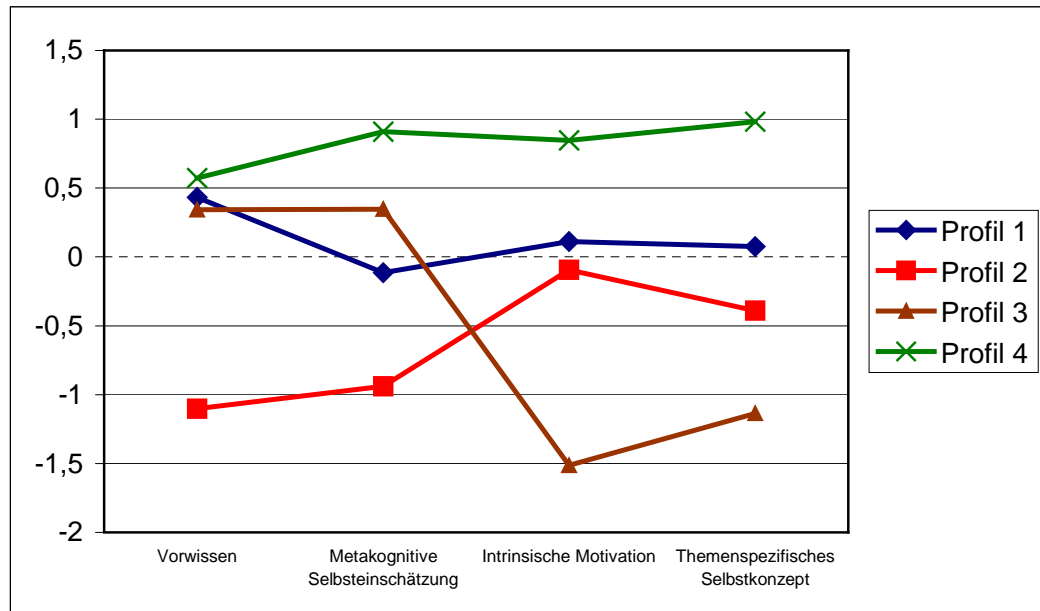


Abbildung 6.4.1.1: Homogene Untergruppen in Form von unterschiedlichen Profilverläufen (z-standardisiert) dargestellt.

Profil 1 ($n = 15$) beschreibt Lernende mit überdurchschnittlichem Vorwissen und durchschnittlichen Ausprägungen auf den übrigen Variablen: „metakognitive Kompetenz“, „intrinsische Motivation“ und „themenspezifisches Selbstkonzept“.

Profil 2 ($n = 17$) kennzeichnet Lernende mit deutlich unterdurchschnittlichem Vorwissen und deutlich unterdurchschnittlicher metakognitiver Kompetenz (ca. eine Standardabweichung unter dem Mittelwert). Beide Variablen sind im Vergleich zu den anderen Gruppen am schwächsten ausgeprägt. Die Werte für intrinsische Motivation entsprechen dagegen dem Mittel, das themenspezifische Selbstkonzept ist leicht unterdurchschnittlich ausgeprägt.

Mit *Profil 3* ($n = 9$) werden Lernende charakterisiert, bei denen ein leicht überdurchschnittliches Vorwissen sowie eine überdurchschnittliche

Kompetenzeinschätzung auszumachen waren. Ebenso charakteristisch für diese Gruppe sind jedoch auch weit unterdurchschnittliche Werte (eineinhalb Standardabweichungen unter dem Mittelwert) für die intrinsische Motivation und ein sehr schwach ausgeprägtes themenspezifisches Selbstkonzept.

Profil 4 ($n = 16$) beschreibt Lernende mit überdurchschnittlichem Vorwissen (mehr als eine halbe Standardabweichung über dem Mittelwert) und deutlich überdurchschnittlichen Werten (jeweils knapp eine Standardabweichung über dem Mittelwert) in den übrigen Variablen „metakognitive Kompetenz“, „intrinsische Motivation“ und „themenspezifisches Selbstkonzept“. In allen Variablen haben Lernende dieser Gruppe im Vergleich mit den anderen Merkmalsprofilen die höchsten Werte.

Zur Vereinfachung sollen die Beschreibungen der unterschiedlichen Profile zusammengefasst und die Profile mit einem einprägsamen *Etikett* versehen werden:

Profil 1: Leicht überdurchschnittliches Vorwissen und ansonsten eher durchschnittliche Werte.

→ **Die „Unauffälligen“.**

Profil 2: Sehr geringes Vorwissen und sehr negative metakognitive Kompetenz.

→ **Die „Ungeübten“.**

Profil 3: Sehr niedrig ausgeprägte Motivationswerte (intrinsische Motivation und themenspezifisches Selbstkonzept).

→ **Die „Unmotivierten“.**

Profil 4: Überdurchschnittliche Ausprägungen auf allen Variablen.
→ **Die „Musterschüler“.**

Für die weiteren interferenzstatistischen Berechnungen wurde der Einfluss der Lernbedingung (mit vs. ohne metakognitives *Prompting*) kovarianzanalytisch kontrolliert.

6.4.2 Lernerfolg in Abhängigkeit von den Merkmalsprofilen (Frage 4.3.2)

Nachtest: Die varianzanalytische Prüfung ergibt zunächst, dass sich die clusteranalytisch ermittelten Gruppen signifikant im Nachtest (theoretisches Maximum: 20 Punkte) unterscheiden ($F(3,52) = 5.80$, $p < .05$, $f = .58$). Deskriptiv betrachtet schneiden die „Musterschüler“ am besten ab, die „Unauffälligen“ und „Unmotivierten“ liegen nahezu gleichauf, während die „Ungeübten“ am wenigsten Punkte erzielen konnten (siehe Tabelle 6.4.2.1). Es lagen weder Decken- noch Bodeneffekte vor.

In post hoc durchgeführten Einzelvergleichen wird der Leistungsunterschied zwischen „Musterschülern“ und „Ungeübten“ signifikant ($p < .01$, α -Korrektur nach Bonferroni).

Das schlechtere Abschneiden der „Ungeübten“ im Nachtest lässt jedoch nicht den Schluss zu, dass diese in geringerem Umfang von der Lernumgebung profitiert hätten. Der deskriptive Vergleich der Vor- und Nachtestleistungen anhand der Aufgaben, die beiden Tests gemeinsam waren, zeigt, dass die „Ungeübten“ relativ zu ihrem Vorwissen den größten Lernfortschritt erarbeiteten. Die „Musterschüler“ dagegen, die bereits über vergleichsweise viel Vorwissen verfügten, konnten am wenigsten dazu lernen. Post hoc wird der Unterschied im Lernfortschritt zwischen „Ungeübten“ und „Musterschülern“ signifikant ($p < .05$, α -Korrektur nach Bonferroni).

Follow-Up: Von den 57 Probanden nahmen nur noch 34 an der Follow-Up Messung teil. Diese verteilten sich wiederum gleichmäßig auf die vier Merkmalsprofile. Ein statistischer Zusammenhang zwischen Lernbedingung und Profilverlauf lag ebenfalls nicht vor ($\chi^2(3, N = 34) = 2.3, n. s.$).

Tabelle 6.4.2.1: Nachtest und Follow-Up in Abhängigkeit vom Merkmalsprofil. Geschätzte Mittelwerte (Standardabweichung in Klammern) nach statistischer Kontrolle des Faktors *Lernbedingung*.

	Nachtest	Follow-Up*	Differenz zwischen Vor- und Nachtest**
	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>
Die „Unauffälligen“	12.22 (.65)	10.61 (.64)	1.15 (.35)
Die „Ungeübten“	10.08 (.61)	10.12 (.79)	2.11 (.33)
Die „Unmotivierten“	12.32 (.85)	9.42 (1.00)	1.23 (.46)
Die „Musterschüler“	13.69 (.63)	13.27 (.75)	.83 (.34)

* N (die „Unauffälligen“) = 12, N (die „Ungeübten“) = 8, N (die „Unmotivierten“) = 5, N (die „Musterschüler“) = 9. Keine Konfundierung von Merkmalsprofil und Lernbedingung im Follow-Up: $\chi^2(3) = 2.3, n. s.$

** Die Differenz zwischen Vor- und Nachtestleistung wurde anhand der beiden Aufgaben (A1 und A2 bzw. A1 und A3) bestimmt, die beiden Tests gemeinsam waren.

Wiederum ergeben sich statistisch bedeutsame Mittelwertsunterschiede zwischen den vier Merkmalsprofilen ($F(3,29) = 4.3, p < .05, f = .66$). Bei deskriptiver Betrachtung nehmen diesmal jedoch die „Unmotivierten“ den hintersten Rang bzgl. der Testleistung ein, während die „Musterschüler“ erneut die durchschnittlich höchste Punktzahl verbuchen können. Betrachtet man nur die 34 Probanden, die an beiden Messungen teilgenommen haben, ergibt sich ein ähnliches Bild: Die „Ungeübten“ erzielten bei beiden Messungen annähernd

die gleiche Punktzahl (*Mittlere Differenz* = .21, *SD* = .84), die „Musterschüler“ verlieren leicht (*Mittlere Differenz* = 1.08, *SD* = .45) und die „Unauffälligen“ knapp eineinhalb Punkte (*Mittlere Differenz* = 1.63, *SD* = .50). Am deutlichsten ist aber der Leistungsabfall bei den „Unmotivierten“, die vier Wochen nach dem Nachtest im Mittel 2.15 (*SD* = .32) Punkte weniger erreichen. Bis auf die Gruppe der „Ungeübten“ werden post hoc sämtliche Leistungsunterschiede signifikant ($p < .05$, α -Korrektur nach Bonferroni).

Insgesamt lässt sich festhalten, dass Unterschiede im Merkmalsprofil mit Unterschieden in der Lernleistung einher gehen, die nicht mit der Lernbedingung konfundiert sind. Dieser Effekt kann auch vier Wochen nach Bearbeiten der Lernumgebung noch beobachtet werden. Vergleicht man Nachtestleistung und Leistung im Follow-up, zeigt sich, dass die „Unmotivierten“ tendenziell am weitesten hinter ihren Nachtestleistungen zurückfallen.

6.4.3 Lernzeit und Nutzungsverhalten in Abhängigkeit von den Merkmalsprofilen (Frage 4.3.3)

Zunächst zeigt Tabelle 6.4.3.1, dass Probanden mit unterschiedlichen Merkmalskonstellationen sich in der Bearbeitungszeit kaum unterscheiden. Relativ betrachtet am wenigsten Zeit investierten die „Unmotivierten“ in die Lernumgebung und am meisten die „Ungeübten“. Die geringen Zeitunterschiede sind jedoch statistisch nicht bedeutsam ($F(52,3) = .06$, *n. s.*, $f = .05$).

Dagegen treten Unterschiede im Nutzungsverhalten auf, insbesondere bei der Bearbeitung der Pflichtaufgaben ($F(53,3) = 3.34$, $p < .05$, $f = .43$): „Ungeübte“ unternehmen zu weniger Pflichtaufgaben einen eigenständigen Lösungsversuch (Problemlöseaufgabe) als Lernende mit anderem Merkmalsprofil. Post hoc wird die Differenz zwischen „Ungeübten“ und „Musterschülern“ signifikant ($p < .05$, α -Korrektur nach Bonferroni),

tendenziell besteht auch ein Unterschied zu den „Unmotivierten“ ($p < .10$, α -Korrektur nach Bonferroni). Dieser Umstand entspricht der Erwartung, denn bei unzureichendem Vorwissen macht es offensichtlich für Lernende weniger Sinn, eine Aufgabe zuerst selbstständig zu bearbeiten. Ein eigenständiger Lösungsversuch setzt in der Regel zumindest Grundwissen voraus. Dieses Grundwissen hätten sich Lernende, die darüber nicht verfügen, auch durch intensiven Gebrauch des Glossars aneignen können. Die geringfügigen Lernzeitunterschiede zwischen den Gruppen lassen jedoch eher vermuten, dass die „Ungeübten“ diese Option nicht wahrgenommen haben. Eine vorhandene Ressource trotz Bedarf ungenutzt zu lassen, ist sicher auch ein Zeichen metakognitiver Schwäche, die sich in der geringen metakognitive Kompetenz der „Ungeübten“ widerspiegelt.

Tabelle 6.4.3.1: Lernzeit (in h:min) als Problemlöseaufgaben bearbeitete Pflichtaufgaben, insgesamt und als Problemlöseaufgaben bearbeitete zusätzliche Aufgaben in Abhängigkeit vom Merkmalsprofil. Geschätzte Mittelwerte (Standardabweichung in Klammern) nach statistischer Kontrolle des Faktors „Lernbedingung“.

	Lernzeit	Pflichtaufgaben*	Zusätzliche Aufgaben*	
		<i>als PA bearbeitet</i>	<i>Gesamt bearbeitet</i>	<i>als PA bearbeitet</i>
	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>
Die „Unauffälligen“	1:12 (0:07)	5.30 (.40)	1.40 (1.10)	1.10 (1.10)
Die „Ungeübten“	1:13 (0:07)	3.90 (.40)	2.10 (1.60)	1.50 (1.60)
Die „Unmotivierten“	1:09 (0:10)	5.00 (.50)	1.20 (1.30)	1.20 (1.50)
Die „Musterschüler“	1:10 (0:07)	5.40 (.40)	1.40 (1.50)	1.20 (1.30)

*Insgesamt gab es sechs Pflichtaufgaben und sechs zusätzliche Aufgaben.

Im Hinblick auf die zusätzlichen Aufgaben traten keine statistisch bedeutsamen Unterschiede zwischen den Gruppen auf. In deskriptiver Hinsicht haben die „Ungeübten“ etwas mehr zusätzliche Aufgaben gewählt und mehr zusätzliche Aufgaben eigenständig zu lösen versucht. Das erscheint plausibel, wenn man davon ausgeht, dass die „Ungeübten“ in der Tendenz zunächst versuchten, sich durch das Studium der Musterlösungen Grundwissen anzueignen und dann die Chance wahrnahmen, das neue Wissen zu erproben, indem sie eine zusätzliche Aufgabe wählten. Auf diese Weise erhielten sie nochmals Gelegenheit, an einem ähnlichen Beispiel einen eigenständigen Lösungsversuch zu unternehmen.

Insgesamt zeigt sich, dass unterschiedliche Merkmalskonstellationen zu unterschiedlichem Nutzungsverhalten führen können. Erstaunlich ist in diesem Zusammenhang allerdings, dass sich die „Unmotivierten“ nicht deutlicher von den anderen Gruppen absetzen. Weder im intensiven (Lernzeit) noch extensiven Nutzungsverhalten (Bearbeitung der Aufgaben) geben sich die motivationalen Schwächen der „Unmotivierten“ klar zu erkennen. Das mag u. a. daran liegen, dass bei der Messung der Motivation vor der Lernphase der extrinsische Aspekt nicht berücksichtigt wurde.

6.4.4 Akzeptanz der Lernumgebung und subjektiver Lernerfolg in Abhängigkeit von den Merkmalsprofilen (Frage 4.3.4)

Hinsichtlich der abhängigen Motivationsvariablen *Akzeptanz der Lernumgebung* und *Subjektiver Lernerfolg* lassen sich zwischen den verschiedenen Merkmalsprofilen, bei insgesamt eher hohen Motivationswerten (relativ zum theoretischen Maximum von 6.00 Punkten) aus deskriptiver Sicht kaum Unterschiede feststellen. Die höchsten Motivationswerte zeigen die „Musterschüler“, die ihren eigenen Lernerfolg am größten einstufen und hinsichtlich der Akzeptanz von *Koralle* immerhin den „zweiten Platz“ belegen. Die geringsten Akzeptanzwerte verzeichnen dagegen die „Ungeübten“.

Bemerkenswert sind hier, analog zu den Befunden zum Nutzungsverhalten, die relativ hohen Motivationswerte der „Unmotivierten“. Wenn es stimmt, dass die „Unmotivierten“ eher extrinsisch motiviert sind, wie oben in Erwägung gezogen wurde, dann tendieren diese möglicherweise auch eher zu einem Antwortverhalten im Sinne sozialer Erwünschtheit. (Literatur). Allerdings finden sich hier keine weiteren Belege, so dass diese Hypothese spekulativ bleiben muss.

Tabelle 6.4.4.1: Akzeptanz der Lernumgebung und subjektiver Lernerfolg in Abhängigkeit vom Merkmalsprofil. Geschätzte Mittelwerte (Standardabweichung in Klammern) nach statistischer Kontrolle des Faktors „Lernbedingung“.

	Akzeptanz der Lernumgebung M (SD)	Subjektiver Lernerfolg M (SD)
Die „Unauffälligen“	4.89 (.17)	4.44 (.18)
Die „Ungeübten“	4.57 (.16)	4.51 (.16)
Die „Unmotivierten“	5.00 (.23)	4.48 (.23)
Die „Musterschüler“	4.94 (.18)	4.98 (.18)

6.4.5 Zusammenfassung und Diskussion

Mit clusteranalytischen Mittel ließen sich vier Merkmalsprofile identifizieren, die eine erstaunliche hohe Übereinstimmung mit den vier Untergruppen aufweisen, welche Stark (Stark, 2001; Stark & Mandl, 2002) im Zusammenhang mit der Evaluation von *NetBite* ermittelte (siehe Kap 2.2.3). Hier wie dort finden sich *Musterschüler*, *Unmotivierte*, *Unauffällige* und eine Gruppe von Studenten, die sich vor allem durch ihr geringes Vorwissen von den anderen abhebt. Stark und Mandl (2002), die keine metakognitiven

Lernvoraussetzungen erhoben hatten, fanden deutliche Hinweise dafür, dass sich diese vorwissensschwachen Lerner außerdem durch gravierende metakognitive Defizite ausweisen. Dieselbe äußerst ungünstige Kombination von Vorwissensschwäche und mangelnden metakognitiven Fähigkeiten zeichnet auch die Gruppe der *Ungeübten* aus.

Im Gegensatz zu den *Vorwissensschwachen* der *NetBite*-Studien konnte diese Gruppe jedoch von dem Lernen mit *Koralle* profitieren. Zwar schnitten die *Ungeübten* im Vergleich mit den anderen Gruppen im Nachtest am schlechtesten ab, aber gleichzeitig konnten sie sich relativ zu ihrem Vorwissen den größten Lernfortschritt erarbeiteten und diesen auch stabil halten, wie die Follow-up Messung zeigte. Dieser Umstand weist darauf hin, dass die Integration adaptiver Komponenten in die Lernumgebung für vorwissensschwache und metakognitiv ungeübte Lernende hilfreich war. Auch die Unterschiede im Nutzungsverhalten lassen vermuten, dass die *Ungeübten* die adaptiven Möglichkeiten von *Koralle* in lernförderlicher Weise verwenden konnten. Einschränkend lassen sich die geringfügigen Unterschiede in den Bearbeitungszeiten zwischen den Gruppen jedoch dahingehend interpretieren, dass die *Ungeübten* das Potential der Lernumgebung nicht voll ausgeschöpft hatten.

Hinsichtlich der Werte in den abhängigen Motivationsvariablen unterscheiden sich die Gruppen kaum. Selbst die *Unmotivierten* zeichnen sich durch hohe Akzeptanzwerte und hohe Werte im subjektiven Lernerfolg aus. Instrukional wünschenswert wäre natürlich, dass die Arbeit mit einer Lernumgebung auf Lernende mit unterschiedlichsten Lernvoraussetzungen gleichermaßen motivierend wirkt. Möglich ist jedoch, dass die verwendeten Skalen im kritischen Variationsbereich nicht sensitiv genug waren, um zwischen Lernenden mit unterschiedlichen Merkmalsprofilen zu differenzieren und so Deckeneffekte begünstigten. Auch sind Effekte sozialer Erwünschtheit nicht sicher auszuschließen. Aufschlussreich im Hinblick auf eine

motivationale Perspektive sind dagegen die Ergebnisse der Follow-up Messung. Hier schnitten die Unmotivierten, relativ zu den unmittelbar nach Bearbeiten der Lernumgebung erbrachten Leistungen, am schlechtesten ab. Dieser Befund zeigt, dass es sich auszahlt, das Lerngeschehen auch motivationstheoretisch zu betrachten und nicht nur aus kognitionspsychologischer Perspektive.

7 Gesamtdiskussion und Konsequenzen

Mit dieser Arbeit wurde zum einen versucht, einen Beitrag zur *sukzessiven Optimierung* und zum Verständnis einer Lernform für den Wissenserwerb im Bereich Statistik zu leisten: Das Lernen mit Lösungsbeispielen im Kontext einer computerbasierten Lernumgebung. Zum diesem Zweck wurde die Effektivität der Lernumgebung *Koralle* experimentell überprüft.

Da viele Lernende das didaktische Potential computerbasierter Lernumgebungen nur ungenügend nutzen, wurde zum anderen eine spezifische instruktionale Unterstützungsmethode zur Förderung metakognitiver Kompetenz und zur Kompensation metakognitiver Defizite untersucht: Metakognitives Prompting mit Begründungsprompts. Hierfür wurden zwei Lernbedingungen miteinander verglichen, eine Lernbedingung mit Prompting und eine ohne. Darüber hinaus wurde nach der Wirkungsweise der metakognitiven Prompts gefragt. Insbesondere sollte geklärt werden, inwieweit diese Maßnahme tatsächlich metakognitive Defizite kompensieren kann.

Zudem wurde der Einfluss kognitiver, motivationaler und metakognitiver Lernvoraussetzungen auf Lernprozess und Lernerfolg untersucht. Clusteranalytisch wurden vier Merkmalsprofile identifiziert und mit dem Lernerfolg und dem Nutzungsverhalten der Lernenden in Beziehung gesetzt.

Im Folgenden werden zentrale Befunde diskutiert und Konsequenzen für die Forschung erwogen. Abschließend werden Folgerungen für die instruktionale Praxis erörtert.

7.1 Diskussion zentraler Befunde und Konsequenzen für die Forschung

Durch die Lernumgebung konnte der Erwerb von anwendbarem Wissen und insbesondere die Aneignung von mentalen Modellen zum Korrelationsbegriff

substantiell und zeitlich stabil gefördert werden. Damit konnte in Übereinstimmung mit den Befunden zu *NetBite* und den Untersuchungen von Gerjets und Mitarbeitern (Gerjets et al., 2005; Gerjets et al., 2000, 2003) gezeigt werden, dass sich computerbasierte Lernumgebungen zur Förderung des Wissenserwerbs aus Beispielen eignen. Das ist auch insoweit bemerkenswert, als *Koralle* ein Inhaltsgebiet thematisiert, das Lernenden vor allem in kognitiver Hinsicht große Schwierigkeiten bereitet: Der Korrelationsbegriff und seine Anwendungen. Darüber hinaus wurde in dieser Studie erstmals eine Follow-up Messung vorgenommen, die zeigt, dass die erzielten Effekte auch nachhaltig sind. Außerdem lässt sich vom Erfolg der Lernumgebung prima facie auf die Nützlichkeit der zusätzlich implementierten instruktionalen Maßnahmen schließen. Insbesondere haben sich die Verwendung von Streudiagrammen und anderen Visualisierungen bewährt, wie die guten Leistungen der Lernenden bei Aufgaben zum Erwerb mentaler Modelle vermuten lassen.

Die eingesetzte Maßnahme zur metakognitiven Unterstützung, das metakognitive Prompting war ebenfalls erfolgreich. Unter der Lernbedingung mit Prompting konnten die Lernenden ihre Leistungen noch einmal deutlich und insbesondere nachhaltig verbessern, wie die Follow-up Messung zeigte. Bereits in anderen Studien haben sich Prompts zur Förderung metakognitiver und strategischer Aktivitäten als nützlich erwiesen (Bannert, 2003; Lin & Lehmann, 1999; Gerjet et al., 2005). Bei Bannert (2003) erhielt die Promptinggruppe jedoch zusätzlich direkte metakognitive Unterstützung durch ein spezifisches Training vor Bearbeiten der Lernumgebung. Bei Gerjets et al. (2005) waren in der Lernbedingung mit Prompting flankierend komplexitätsreduzierende Maßnahmen (Verringerung der Beispiellanzahl) an der Lernumgebung vorgenommen worden. Demgegenüber wurde in der experimentellen Erprobung von *Koralle* einzig die Promptingmaßnahme variiert. Der größere Lernerfolg der Probanden, die mit metakognitiver Hilfe arbeiteten, kann somit in eindeutigerer Weise auf diese Maßnahme zurückgeführt werden.

Die Befunde zur Wirkungsweise des metakognitiven Prompting liefern darüber hinaus Belege dafür, dass die erzielten Effekte tatsächlich in der

instruktional erwünschten Richtung zustande kamen, also über eine Aktivierung metakognitiver Prozesse. Auch in diesem Punkt konvergieren die Ergebnisse mit den Studien von Bannert und Gerjets et al., in denen die Lernenden der jeweiligen Promptinggruppen nachweisbar mehr lernförderliche kognitive und metakognitive Aktivitäten ausführten. Während dort die Effekte der metakognitiven Hilfe aber eher niedrig waren, Bannert (2003) spricht von „kleinen Wirkungseffekten mit hoher Anwendungsbreite“ (S. 17), fielen sie bei *Koralle* vergleichsweise hoch aus, insbesondere beim Anwendungswissen und bei den mentalen Modellen lagen die Probanden der Promptinggruppe weit vorn. Das ist möglicherweise darauf zurückzuführen, das beim Design der Promptingmaßnahme besonders auf einfache Verständlichkeit in gestalterischer und inhaltlicher Hinsicht geachtet wurde und eine natürliche Integration in den Lernprozess erfolgte – Maßnahmen, die sich im Hinblick auf eine Reduktion kognitiver Belastung auszahlen sollten. Diese Vermutung wird gestützt durch die Daten zur Akzeptanz der Lernumgebung und zur Bearbeitungszeit, die keine Unterschiede zwischen den Lernenden der beiden Bedingungen erkennen ließen. Dieser Befund lässt jedoch interpretatorische Spielräume offen.

Hervorzuheben ist, dass die positiven kognitiven Effekte des Lernens mit metakognitiver Unterstützung nicht auf Kosten motivationaler Aspekte erzielt wurden. Die motivationalen Effekte beim Lernen mit Prompting und beim Lernen ohne Prompting unterschieden sich nicht und waren insgesamt ausgesprochen günstig. Kognitive und motivationale Effekte waren also nicht dissoziiert.

Die Unterschiede im Lernerfolg und im Nutzungsverhalten bei den clusteranalytisch ermittelten Lernerprofilen demonstrieren, dass es instruktional aufschlussreich sein kann, im Hinblick auf die Lernwirksamkeit einer Lernumgebung eine differentialpsychologische Perspektive einzunehmen (vgl. Plass, 2005). Im allgemeinen verfügen Lernende mit hohen Fähigkeiten, wie die Untergruppe der *Musterschüler* in der *Koralle*-Studie über Kompensationsmöglichkeiten, die es ihnen möglich machen, auch mit Materialien zu lernen, die nicht optimal gestaltet sind. Für Lernende mit ungünstigen Lernvoraussetzungen kann das Design einer Lernumgebung jedoch einen entscheidenden Einfluss auf

das Lerngeschehen und den Lernerfolg haben (Plass, 2005, Stark, 2001). Vor diesem Hintergrund ist es umso erfreulicher, dass die Gruppe der *Ungeübten* beim Bearbeiten von *Koralle*, relativ betrachtet, den größten Lernfortschritt erzielen konnte. Offensichtlich hat sich hier die Integration adaptiver Elemente in die Lernumgebung instruktional ausgezahlt.

Ein weiterer wichtiger Befund stellt das Abschneiden der *Unmotivierten* bei der Follow-up Messung dar. Sie fielen von allen Gruppen am weitesten hinter ihre unmittelbar nach Bearbeiten der Lernumgebung erreichten Leistungen zurück. Dies mag als Hinweis darauf gedeutet werden, dass motivationalen Faktoren eine bedeutende Funktion für ein langfristiges, tiefergehendes Behalten von einmal erbrachten Lernleistungen zukommt.

Im Folgenden sollen die dargestellten Befunde unter methodischen Gesichtspunkten diskutiert werden: Die interne Validität der Untersuchung kann als gesichert gelten, wie der Vergleich der Lernvoraussetzungen zwischen den verschiedenen an der Studie beteiligten Gruppen zeigte. Für die Generalisierbarkeit der Befunde auf das akademische Statistik-Lernen mit einer computerbasierten Lernumgebung sprechen Lerninhalt und Aufgabeschwierigkeit, die den Anforderung des Methodencurriculums angepasst sind, die freiwählbare Lernzeit, die Stichprobe, die aus Studenten der Sozialwissenschaften besteht und die eingesetzten Lernerfolgsmaße, die im Sinne einer anwendungsorientierten Methodenlehre entwickelt wurden. Einschränkungen für die Generalisierbarkeit ergeben sich dagegen aus der Selektivität, die eine freiwillige und geringfügig entlohnte Versuchsteilnahme mit sich bringt; weiterhin daraus, dass keine Emotionen und Einstellungen gegenüber Statistik erhoben wurden, so dass Selektionseffekte im Hinblick auf diese Lernermerkmale nicht ausgeschlossen werden können.

Um Aufschluss über die Wirkungsweise der Promptingmaßnahme und den Lernprozess zu bekommen, wurde in dieser Untersuchung Belegmaterial unterschiedlicher begründungstheoretischer Qualität verwendet. Ergänzend hätten Protokolle lauten Denkens erhoben werden können. Diese zunächst zur

Erforschung von Problemlöseprozessen entwickelte Methode (Ericsson & Simon, 1993) wurde bereits in zahlreichen Untersuchungen zur Erfassung strategischer Aktivitäten beim Lernen aus Texten, aber auch beim beispielbasierten Lernen mit Erfolg angewandt. Allerdings wurden von verschiedenen Autoren auch Einwände gegen die Validität und Non-Reaktivität des Verfahrens vorgebracht (vgl. Nisbett & Wilson, 1977). Diese lassen sich jedoch bei entsprechender Gestaltung der Untersuchungssituation entschärfen. So ist u.a. darauf zu achten, dass Erklärungen und Interpretationen der Probanden minimiert werden (Crutcher, 1994). In jedem Fall empfiehlt sich, den Untersuchungsteilnehmern Gelegenheit zu geben, in einer Trainingsphase das laute Denken einzuüben. Der Nachteil dieser Herangehensweise besteht darin, dass sie die ohnehin bereits recht aufwendige Methode noch aufwendiger machen. Alternativ wird daher, vor allem in neueren Studien, das Navigationsverhalten anhand von Logfiles aufgezeichnet und analysiert (für einen Überblick siehe Lawless & Brown, 1997). Problematischerweise ist über die Validität von Logfile-Daten als Indikatoren strategischer und metakognitiver Aktivitäten bislang jedoch noch zu wenig bekannt (Richter, Naumann, Brunner & Christmann, 2005). In ökonomischer Hinsicht liefert die Methode dennoch entscheidende Vorteile, denn mit entsprechender Software lässt sich die Auswertung von Logfiles automatisieren (Richter, Naumann & Noller, 2003). Nach entsprechender empirischer Fundierung stellt sie daher für zukünftige Studien zum computerbasierten Lernen ein vielversprechendes Verfahren dar. Unter methodischen Gesichtspunkten wäre es für nachfolgende Untersuchungen außerdem wünschenswert, prozessbegleitende Messungen kognitiver Belastung vorzunehmen (vgl. Brünken, Pass & Leutner, 2003). Derartige methodische Verfeinerungen könnten dazu beitragen, ein konzeptionelles Ziel, das beim Design von *Koralle* maßgebend war und allgemein für das computerbasierte Lernen von großer Bedeutung ist, noch besser umzusetzen: die ressourcenschonende Gestaltung von Lernumgebungen. Prozessmessungen von kognitiver Belastung haben insbesondere den Vorteil, dass sie es ermöglichen, Belastungsspitzen zu identifizieren, die entstehen, wenn hohe Lernanforderungen mit hohen Navigationsanforderungen zusammentreffen, die

nur mit entsprechendem strategischem und metakognitivem Aufwand bewältigt werden können (vgl. Gerjets et al., 2005).

7. 2 Instruktionale Konsequenzen

Die hohe Effektivität der implementierten Promptingmaßnahme zeigt, dass es möglich ist, metakognitive Aktivitäten Lernender mit vergleichsweise geringem technischem und ökonomischen Aufwand erfolgreich zu unterstützen. Da es sich um eine indirekte Form der Unterstützung handelt, muss auch nicht in eine Trainingsmaßnahme investiert werden.

Mittlerweile hat sich *Koralle* unter realen Lehr/Lernbedingungen und in verschiedenen Domänen bewährt. Unter anderem wurde eine inhaltlich adaptierte Version für Studenten der Sportwissenschaft in Saarbrücken entwickelt. Darüber hinaus wurde zusätzlich eine Feedback-Maßnahme, die aus Verständnistests und elaboriertem, antwortabhängigen Feedback besteht, implementiert. Außerdem wurde *Koralle* erfolgreich für das kooperative Lernen verwendet (Krause & Stark, 2004). Bei einer weiteren experimentellen Erprobung erwies sich die Lernumgebung wiederum als effektiv und effizient ($t(136) = -8.76, p < .001; d = 1.05$). Die Lernenden konnten bereits nach kurzer Lernphase einen bedeutsamen Lernfortschritt erzielen (Krause & Stark, 2004).

Grundsätzlich lässt sich *Koralle* in verschieden Lehr/Lernkontexten einsetzen, etwa als Bestandteil eines virtuellen Tutoriums zu Forschungsmethoden und Statistik, im Rahmen der Präsenzlehre (Bearbeitung im Computerraum) oder als Selbstlernumgebung zur individuellen Bearbeitung zu Hause. Unklar ist noch, inwieweit unter solch unterschiedlichen Bedingungen differentielle Effekte für das Bearbeiten der Lernumgebung zu erwarten sind.

Literaturverzeichnis

- Abel, J. (1999). Probleme der Ausbildung in Empirie und Statistik an erziehungswissenschaftlichen Fachbereichen. *Empirische Pädagogik* 13, 317 - 321.
- Abel, J., Bühner, M., Plaßmeier, N. & Püttmann, C. (1999). *Befragung von Studierenden der Pädagogik im Hauptfach in den drei parallelen Lehrveranstaltungen zur Einführung in die empirisch statistischen Methoden pädagogischer Forschung an der Westfälischen Wilhelms Universität zu Münster* (Unveröff. Manuskript). Konstanz: Universität Konstanz, Fachbereich Geschichte, Soziologie und Erziehungswissenschaft.
- Alexander, P. A. & Judy, J. E. (1988). The interaction of domain-specific and strategic knowledge in academic performance. *Review of Educational Research*, 58, 375 - 404.
- Alexander, P. C., Carr, M. & Schwanenflugel, P. J. (1995). Development of metacognition in gifted children: Directions for future research. *Developmental review*, 15, 1 - 37.
- Alwood, C. M. (1984). Error detection processes in statistical problem solving. *Cognitive Science*, 8, 413 - 437.
- Alwood, C. M. (1990). On the relation between justification of solution method and correctness of solution in statistical problem solving. *Scandinavian Journal of Psychology*, 31, 181 - 190.
- Anderson, J. R. & Lebiere, C. (1998). *Atomic components of thought*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Anglin, G. J., Towers, R. L. & Levie, W. H. (1996). Visual message design and learning: The role of static and dynamic illustrations. In D. H. Jonassen (Ed.), *Handbook of research for educational communications and technology*, 755 - 794. New York: Simon and Schuster Macmillan.
- Atkinson, R. K., Derry, S. J., Renkl, A. & Wortham, D. W. (2000). Learning from examples: Instructional principles from the worked examples research. *Review of Educational Research*, 70, 181 - 214.
- Baddeley, A. D. (1999). *Essentials of human memory*. Hove, UK: Psychology Press.
- Baker, L. (1994). Fostering metacognitive development. In H. W. Reese (Ed.), *Advances in child development and behavior*, Vol. 25, 201 - 239. San Diego, CA: Academic Press.
- Baker, L. & Brown, A. L. (1984). Metacognitive skills and reading. In P. D. Pearson, M. Kamil, R. Barr & P. Mosenthal (Eds.), *Handbook of reading research*, 353 - 394. New York: Longman.

- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Bangert-Drowns, R. L., Kulik, C. C., Kulik, J. A. & Morgan, M. T. (1991). The instructional effect of feedback in test-like events. *Review of Educational Research*, 61 (2), 213 - 238.
- Bannert, M. (2003). Effekte metakognitiver Lernhilfen auf den Wissenserwerb in vernetzten Lernumgebungen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17, 13 - 25.
- Becker, B.J. (1996). A look at the literature (and other resources) on teaching statistics. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 21, 71 - 90.
- Benson, J. (1989). Structural components of statistical test anxiety in adults: An exploratory model. *The Journal of Experimental Education*, 57, 247 - 261.
- Bielaczyc, K., Pirolli, P. & Brown, A. L. (1993). *Strategy training in self-explanation and self-regulation strategies for learning computer programming* (Report No. CSM-5). Berkeley: University of California Press.
- Birkhan, G. & Schulmeister, R. (1983). Untersuchung kognitiver Probleme beim Lernen der Statistik: Kognitive Operationen und Lernstile. In R. Schulmeister (Hrsg.), *Angst vor Statistik. Empirische Untersuchungen zum Problem des Statistik-Lehrens und -Lernens*. Hamburg: Arbeitsgemeinschaft für Hochschuldidaktik.
- Bloom, B. S. (1964). *Stability and change in human characteristics*. New York: Wiley.
- Bodemer, D. (2004). *Unterstützung multimedialen Lernens: Instruktionsdesign zur Förderung der Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten und dynamisch-interaktiven Bildern*. Freiburg: Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität, Wirtschafts- und Verhaltenswissenschaftliche Fakultät.
- Bortz, J. (2005). *Statistik für Sozialwissenschaftler*, (6. Aufl.). Berlin: Springer.
- Bortz, J. & Lienert, G. (1998). *Kurzgefasste Statistik für die klinische Forschung*. Berlin: Springer.
- Brewer, W. F. (1987). Schemas versus mental models in human memory. In P. Morris (Ed.), *Modelling cognition*, 187 - 197. Chichester: Wiley.
- Brewer, W. F. (1993). What are concepts? Issues of representation and ontology. In G. V. Nakamura, R. M. Taraban & D. L. Medin (Eds.), *The psychology of learning and motivation, Vol. 29: Categorization by humans and machines*, 495 - 533. San Diego, CA: Academic Press.
- Brewer, W. F. & Nakamura, G. V. (1984). The nature and functions of schemas. In R. S. Wyer & T. K. Srull (Eds.), *Handbook of social cognition, Vol. 1*, 119 - 160. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Broers, N. J. (2001). Analyzing propositions underlying the theory of statistics. *Journal of Statistics Education* [Online], 9 (3).
- Broers, N. J. (2002). Selection and use of propositional knowledge in statistical problem

- solving. *Learning and Instruction*, 12, 323 - 344.
- Brown, A. L. (1978). Knowing when, where, and how to remember: A problem of metacognition. In R. Glaser (Ed.), *Advances in instructional psychology, Vol.1*, 77 - 165. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Brown, A. L. (1987). Metacognition, executive control, self-regulation, and other more mysterious mechanisms. In F. E. Weinert & R. H. Kluwe (Eds.), *Metacognition, motivation, and understanding*, 65 - 116. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Brown, A. L., Campione, J. C. & Day, J. D. (1981). Learning to learn: On training students to learn from texts. *Educational Researcher*, 10 (2), 14 - 21.
- Brünken, R. & Leutner, D. (2000). Neue Medien als Gegenstand empirischer pädagogischer Analyse: Stand der Forschung und Perspektiven. In: D. Leutner & R. Brünken (Hrsg.), *Neue Medien in Unterricht, Aus- und Weiterbildung. Aktuelle Ergebnisse empirischer pädagogischer Forschung*, 7 - 16. Münster: Waxmann.
- Brünken, R., Plass, J. & Leutner, D. (2003). Direct measurement of cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38, 53 - 61.
- Brunstein, J. C. & Spörer, N. (2001). Selbstgesteuertes Lernen. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie*, 622 - 629. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Bürg, O. (2002). *Konzeption und Evaluation eines beispielbasierten, virtuellen Tutoriums im Bereich empirische Forschungsmethoden*. Unveröffentlichte Magisterarbeit, Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Carver, R. P. (1978). The case against statistical significance testing. *Harvard Educational Review*, 48, 378 - 399.
- Chambres, P., Izaute, M. & Marescaux, P-J. (2002). *Metacognition: process, function, and use*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Chance, B. L. (2002). Components of statistical thinking and implications for instruction and assessment. *Journal of Statistics Education* [Online], 10 (3).
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8, 293 - 332.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1992). The split-attention effect as a factor in the design of instruction. *British Journal of Educational Psychology*, 62, 233 - 246
- Chervany, N., Benson, P.G. & Iyer, R. (1980). The planning stage in statistical reasoning. *The American Statistician*, 34, 222 - 226.
- Chervany, N., Collier, R., Fienberg, S., Johnson, P. & Neter, J. (1977). A framework for the development of measurement instruments for evaluating the introductory statistics course. *The American Statistician*, 31, 17 - 23.
- Chi, M. T. H. (1984). Bereichsspezifisches Wissen und Metakognition. In: F.E. Weinert

- & R.H. Kluwe (Hrsg.), *Metakognition, Motivation und Lernen*, 211 - 232. Stuttgart: Kohlhammer.
- Chi, M. T. H., Bassok, M., Lewis, M. W., Reimann, P. & Glaser, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science*, 13, 145 - 182.
- Clayden, A. D. & Croft, M.R. (1990). Statistical consultation – who's the expert?. *Proceedings of AI and Statistics*, 2, 65 - 76.
- Cobb, G.W. (1993). Reconsidering statistics education: A national science foundation conference. *Journal of Statistics Education* [Online], 1 (1).
- Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1993). The Jasper series: Theoretical foundations and data on problem solving and transfer. In L. A. Penner, G. M. Batsche, H. M. Knoff & D. L. Nelson (Eds.), *The challenges in mathematics and science education: Psychology's response*, 113 - 152. Washington: American Psychological Association.
- Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1997). *The Jasper project: Lessons in curriculum, instruction, assessment, and professional development*. Mahwah: Erlbaum.
- Cohen, J. A. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 37 - 46.
- Cohen, J. (1962). The statistical power of abnormal-social psychological research: A review. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 65, 145 - 153.
- Cohen, J. (1990). Things I have learned (so far). *American Psychologist*, 45, 1304 - 1312.
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112, 155 - 159.
- Cohen, J. (1994). The earth is round ($p < .05$). *American Psychologist*, 49, 997 - 1003.
- Collins, A., Brown, J. S. & Newman, S. E. (1989). Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing, and mathematics. In L. B. Resnick (Ed.), *Knowing, learning, and instruction. Essays in the honour of Robert Glaser*, 453 - 494. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Collins, M., Carnine, D. & Gersten, R. (1987). Elaborated corrective feedback and the acquisition of reasoning skills: A study of computer-assisted instruction. *Exceptional Children*, 54, 254 - 262.
- Conklin, J. (1987). Hypertext: An introduction and survey. *IEEE Computer*, 20, 17 - 41.
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16, 297 - 334.
- Crutcher, R. J. (1994). Telling what we know: The use of verbal report methodologies in psychological research. *Psychological Science*, 5, 241 - 244.
- Cumming, G. & Thomason, N. (1998). StatPlay: Multimedia for statistical understanding. In L. Pereira-Mendoza, L. Kea, T. Kee & W-K. Wong (Eds.) *Statistical education: Expanding the network. Proceedings of the Fifth International*

- Conference on Teaching of Statistics*, 947 - 952. Voorburg, The Netherlands: International Statistical Institute.
- Dar, R., Serlin, R.C., Omer, H. (1994). Misuse of statistical test in three decades of psychotherapy research. *Journal of consulting and clinical psychology*, 62 (1), 75 - 82.
- Deci, E. L. (1975). *Intrinsic motivation*. New York, NY: Plenum Press.
- Deci, E. L., Koestner, R. & Ryan, R. M. (2001). Extrinsic rewards and intrinsic motivation in education: Reconsidered once again. *Review of Educational Research*, 71 (1), 1 - 27.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M (1991). A motivational approach to self: Integration in personality. In R. Dienstbier (Ed.), *Nebraska symposium on motivation, perspectives on motivation*, Vol. 38, 237 - 288. Lincoln, NE: University of Nebraska Press.
- DelMas, R. C. (2002). Statistical literacy, reasoning, and learning: a commentary. *Journal of Statistics Education* [Online], 10 (3).
- de Jong, T. & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computersimulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68 (2), 179 - 201.
- Diehl, J. M. & Kohr, H. U. (1999). *Deskriptive Statistik* (12. Aufl.). Eschborn: Verlag Dietmar Klotz.
- Dochy, F. J. R. C. (1992). *Assessment of prior knowledge as a determinant for future learning. The use of prior knowledge state tests and knowledge profiles*. Utrecht: Uitgeverij Lemma B. V.
- Efklides, A. (2001). Metacognitive experiences in problem solving; Metacognition, motivation, and self-regulation. In A. Efklides, J. Kuhl & R. Sorrentino (Eds.), *Trends and prospects in motivation research*, 297 - 323. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Efklides, A. (2002). The systemic nature of metacognitive experiences. In P. Chambres, M. Izaute & P. J. Marescaux (Eds.), *Metacognition: Process, Function and Use*, 19 - 35. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Elio, R. & Anderson, J. R. (1984). The effects of information order and learning mode on schema abstraction. *Memory and Cognition*, 12, 20 - 30.
- Elmore, P. B., Lewis, E. L. & Bay, M. L. (1993). *Statistics achievement: A function of attitudes and related experience*. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, Atlanta, GA.
- Elshout, J. J. (1987). Probleemoplossen als context voor leren probleemoplossen [Problem solving as context for learning to solve problems]. *Nederlands tijdschrift voor psychologie*, 42, 344 - 353.
- Ericsson, K. A. & Simon, H. A. (1993). *Protocol analysis: Verbal reports as data* (2nd, rev. ed.). Cambridge, MA: MIT Press.

- Ertmer, P. A. & Newby, T. J. (1996). The expert learner: Strategic, self-regulated, and reflective. *Instructional Science*, 24 (1), 1 - 24.
- Falk, R. (1981). The perception of randomness. In *Proceedings of the Fifth Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*, 64 - 66. Warwick, U.K.
- Falk, R. (1988). Conditional probabilities: insights and difficulties. In R. Davidson & J. Swift (Eds.), *Proceedings of the Second International Conference on Teaching Statistics*. Victoria, B.C.: University of Victoria.
- Falk, R. (1997). Many faces of the correlation coefficient. *Journal of Statistics Education* [Online], 5 (3).
- Fischer, F. & Mandl, H. (2002). Lehren und Lernen mit neuen Medien. In R. Tippelt (Hrsg.), *Handbuch Bildungsforschung*, 623 - 637. Opladen: Leske+Budrich.
- Fishbein, E. (1975). *The intuitive sources of probabilistic thinking in children*. Dordrecht-Boston: Reidel.
- Flavel, J. H. (1976). Metacognitive aspects of problem solving. In L. B. Resnick (Ed.), *The nature of intelligence*, 231 - 235. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Flavel, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring. A new area of cognitive developmental inquiry. *American Psychologist*, 34, 906 - 911.
- Flavel, J. H. & Wellman, H. M. (1977). Metamemory. In R. V. Kail & J. W. Hagen (Eds.), *Perspectives on development of memory and cognition*, 3 - 33. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Frau, E., Mindoro, V. & Pedemonte, G. M. (1992). Do hypermedia systems really enhance learning? A case study on earthquake education. *Educational and Training Technology International*, 29, 42 - 51.
- Friedrich, H. F. & Mandl, H. (1992). Lern- und Denkstrategien – ein Problemaufriß. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Lern- und Denkstrategien. Analyse und Intervention*, 3 - 54. Göttingen: Hogrefe.
- Friedrich, H. F. & Mandl, H. (1997): Analyse und Förderung selbstgesteuerten Lernens. In: F.E. Weinert & H. Mandl. (Hrsg.). *Psychologie der Erwachsenenbildung, Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich D, Serie I, Bd. 4*, 237 - 293. Göttingen: Hogrefe.
- Gagné, R. M. & Smith, E. C. (1962). A Study of the Effects of Verbalization on Problem Solving. *Journal of Experimental Psychology*, 63 (1), 12 - 18.
- Gal, I. & Ginsburg, L. (1994). The role of beliefs and attitudes in learning statistics: towards an assessment framework. *Journal of Statistics Education* [Online], 2 (2).
- Gall, J. & Hannafin, M. (1994). A framework for the study of hypertext. *Instructional Science*, 22, 207 - 232.
- Garfield, J. (1995). How students learn statistics. *International Statistical Review*, 63 (1),

25 - 34.

- Garfield, J. (1998). *Challenges in assessing statistical reasoning*. AERA Annual Meeting presentation, San Diego.
- Garfield, J. & Ahlgren, A. (1988). Difficulties in learning basic concepts in probability and statistics: Implications for research. *Journal for Research in Mathematics Education*, 19 (1), 44 - 63.
- Garfield, J. & Gal, I. (1999). Assessment and statistics education: current challenges and directions. *International Statistical Review*, 67, 1 - 12.
- Gay, G. (1986). Interaction of learner control and prior understanding in computer-assisted video instruction. *Journal of Educational Psychology*, 78, 225 - 227.
- Gerjets, P. & Scheiter, K. (2003). Goal configurations and processing strategies as moderators between instructional design and cognitive load: Evidence from hypertext-based instruction. *Educational Psychologist*, 38, 33 - 41.
- Gerjets, P., Scheiter, K. & Schuh, J. (2005). Instruktionale Unterstützung beim Fertigkeitserwerb aus Beispielen in hypertextbasierten Lernumgebungen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 19 (1/2), 23 - 38.
- Gerjets, P., Scheiter, K. & Tack, W. H. (2000). Resource-adaptive selection of strategies in learning from worked-out examples. In L. R. Gleitman & A. K. Joshi (Eds.), *Proceedings of the 22nd annual conference from the cognitive science society*, 166 - 171. Mahwah: Erlbaum.
- Gerjets, P., Scheiter, K. & Tack, W. H. (2003). *Strategies of comparing instructional examples in hypertext environments: Are multiple examples really necessary for schema acquisition?* Manuskript zur Publikation eingereicht.
- Giesbrecht, N. (1996). *Strategies for developing and delivering effective introductory-level statistics and methodology courses*. ERIC Document Reproduction Service, No. 393 - 668, Alberta, BC.
- Gigerenzer, G. (1993). Über den mechanischen Umgang mit statistischen Methoden. In E. Roth (Hrsg.), *Sozialwissenschaftliche Methoden* (3. Aufl.). 607 - 618. München: Oldenbourg.
- Gigerenzer, G. & Krauss, S. (2001). Statistisches Denken oder statistische Rituale: Wie soll man unterrichten? In M. Borovcnik, J. Engel & D. Wickmann (Hrsg.), *Anregungen zum Stochastikunterricht*, 53 - 62. Hildesheim: Franzbecker.
- Gilman, D. A. (1969). Comparison of several feedback methods for correcting errors by computer-assisted instruction. *Journal of Educational Psychology*, 60, 503 - 508.
- Goodman, T. A. v. (1986). Using the microcomputer to teach statistics. *Mathematics Teacher*, 79, 210 - 215.
- Gordon, S. (1995). A theoretical approach to understanding learners of statistics. *Journal of Statistics Education* [Online], 3 (3).
- Gräsel, C. (1997). *Problemorientiertes Lernen: Strategieanwendung und Gestaltungs-*

- möglichkeiten. Göttingen: Hogrefe.
- Gräsel, C. & Mandl, H. (1993). Förderung des Erwerbs diagnostischer Strategien in fallbasierten Lernumgebungen. *Unterrichtswissenschaft*, 21, 355 – 370.
- Gratz, Z. S., Volpe, G. D. & Kind, B. M. (1993). *Attitudes and achievement in introductory psychological statistics classes: Traditional versus computer supported instruction*. ERIC Document Reproduction Service No. 365 - 405, Ellenville, NY.
- Green, K. E. (1994). *Affective components of attitude and statistics instruction*. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, New Orleans, LA.
- Greeno, J. G., Collins, A. M. & Resnick, L. B. (1996). Cognition and Learning. In R. Calfee & D. Berliner (Hrsg.), *Handbook of Educational Psychology*, 15 - 46. New York: Macmillan.
- Greer, B. & Semrau, G. (1984). Investigating Psychology Students' Conceptual Problems in Relation to Learning Statistics. *Bulletin of the British Psychological Society*, 37, 123 - 125.
- Große, C. S., Renkl A. (2003). Example-based learning with multiple solution methods fosters understanding *Proceedings of the European Cognitive Science Conference 2003*, 163 - 168.
- Gruber, H. (1994). Klausurangst, subjektive Verstehenseinschätzung und Prüfungsleistung von Pädagogikstudenten in der Methodenausbildung. In R. Olechowski & B. Rollett (Hrsg.), *Theorie und Praxis. Aspekte empirisch-pädagogischer Forschung – quantitative und qualitative Methoden*, 184 - 189. Frankfurt am Main: Lang.
- Gruber, H., Balk, M., Dreyer, A., Kaiser, U., Schätz, U., Stumpf, L. & Völkman, U. (1995). *"Mein Leben mit dem Methodenkurs" – Analyse von StudentInnenwünschen und Möglichkeiten zu deren Umsetzung* (Forschungsbericht Nr. 62). München: Ludwig-Maximilians-Universität, Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie.
- Gruber, H. & Renkl, A. (1996). Alpträume sozialwissenschaftlicher Studierender: Empirische Methoden und Statistik. In J. Lompscher & H. Mandl (Hrsg.), *Lehr- und Lernprobleme im Studium. Bedingungen und Veränderungsmöglichkeiten*, 118 - 130. Bern: Huber.
- Hacker, D. J., Dunlosky, J. & Graesser, A. C. (1998). *Metacognition in educational theory and practice*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Haller, H. (1999). *Was bedeutet Signifikanz? – eine empirische Semesterarbeit* (Unveröffentlichte Semesterarbeit). Berlin: MPI für Bildungsforschung.
- Hansford, B. C. & Hattie, J. A. (1982). The relationship between self and achievement-performance measures. *Review of Educational Research*, 52, 123 - 142.
- Harackiewicz, J. & Larson, J. R. (1986). Managing motivation: The impact of supervisor

- feedback on subordinate task interest. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51 (3), 547 - 556.
- Hartley, K. & Bendixen, L. D. (2001). Educational Research in the Internet Age: Examining the role of individual characteristics. *Educational Researcher*, 30 (9), 22 - 26.
- Hartman, H. J. (2001). Developing student's metacognitive knowledge and skills. In H. J. Hartman (Ed.), *Metacognition in learning and instruction: Theory, Research and Practice*, 33 - 69. The Netherlands : Kluwer Academic Publishers.
- Hasselhorn, M. (1992). Metakognition und Lernen. In G. Nold (Hrsg.), *Lernbedingungen und Lernstrategien. Welche Rolle spielen kognitive Verstehensstrukturen?*, 35 - 63. Tübingen: Gunter Narr Verlag.
- Hasselhorn, M. (1995). Kognitives Training: Grundlagen, Begrifflichkeiten und Desirats. In W. Hager (Hrsg.), *Programme zur Förderung des Denkens bei Kindern*, 14 - 40. Göttingen: Hogrefe.
- Hasselhorn, M. (1998). Metakognition. In D.H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie*, 348 - 351. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Hasselhorn, M. (2003). Metakognition als zentrales Konzept / Metacognition as central concept of lifelong learning. In F. Achtenhagen & E.G. John (Eds.), *Politische Perspektiven beruflicher Bildung. Political perspectives of vocational and occupational education and training*, 17 - 36. Bielefeld: W. Bertelsmann.
- Hasselhorn, M. & Hager, W. (1998). Kognitive Trainings auf dem Prüfstand: Welche Komponenten charakterisieren erfolgreiche Fördermaßnahmen? In M. Beck (Hrsg.), *Evaluation als Maßnahme der Qualitätssicherung: Pädagogisch-psychologische Interventionen auf dem Prüfstand*, 85 - 98. Tübingen: DGVT-Verlag.
- Hasselhorn, M. & Körkel, J. (1984). Zur differentiellen Bedeutung metakognitiver und motivationaler Aspekte im Prädiktionsverfahren. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 16, 283 - 296.
- Hasselhorn, M. & Körkel, J. (1986). Metacognitive vs. Traditional reading instructions: The mediating role of domain-specific knowledge on children's text processing. *Human Learning*, 5, 75 - 90.
- Hawkins, A., Jolliffe, F. & Glickman, L. (1992). *Teaching statistical concepts*. London: Longman.
- Helmke, A. & Weinert F. E. (1997). Bedingungsfaktoren schulischer Leistungen. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Psychologie des Unterrichts und der Schule, Enzyklopädie der Psychologie, D, Serie I, Pädagogische Psychologie, Bd. 3*, 71 - 176. Göttingen: Hogrefe.
- Hubbard, R. (1992). Teaching statistics with MINITAB. *Australian Mathematics Teacher*, 48, 8 - 10.
- Huberty, C.J., Dresden, J. & Byung-Gee, B. (1993). Relations among dimensions of

- statistical knowledge. *Educational and Psychological Measurement*, 53, 523 - 532.
- Jacobs, B. (2002). *Aufgaben stellen und Feedback geben*. Verfügbar unter: <http://www.phil.uni-sb.de/~jakobs/wwwartikel/feedback> [30.09.2003].
- Jacobson, M. J. & Spiro, R. J. (1995). Hypertext learning environments, cognitive flexibility, and the transfer of complex knowledge: An empirical investigation. *Journal of Educational Computing Research*, 12 (5), 301 - 333
- Johnson-Laird, P. N. (1980). Mental Models in Cognitive Science. *Cognitive Science*, 4, 71 - 115.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental Models: Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Kahneman, D., Slovic, P. & Tversky, A. (1982). *Judgement under uncertainty: Heuristics and biases*. New York: Cambridge University Press.
- Kahneman, D. & Tversky, A. (1973). On the psychology of prediction. *Psychological Review*, 80, 237 - 251.
- Keller J. M. & Suzuki K. (1988). Use of the ARCS motivation model in courseware design. In D. H. Jonassen (Ed.), *Instructional designs for microcomputer courseware*, 401 - 434. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kettler, M. (1998). *Der Symbolschock. Ein zentrales Lernproblem im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht*. Frankfurt am Main: Lang.
- King, A. (1994). Autonomy and question asking: The role of personal control in guided student-generated questioning. *Learning and Individual Differences*, 6, 163 - 185.
- Kluger, A. N. & DeNisi, A. (1996). The effects of feedback interventions on performance: A historical review, a meta-analysis, and a preliminary feedback intervention theory. *Psychological Bulletin*, 119 (2), 254 - 284.
- Kluwe, R. (1981). Metakognition. In W. Michaelis (Hrsg.), *Bericht über den 32. Kongreß der DGfP 1980 in Zürich, Bd. 1*, 246 - 258. Göttingen: Hofgrete.
- Konold, C. (1989). An outbreak of belief in independence? In C. Maher, G. Goldin & B. Davis (Eds.), *Proceedings of the 11th Annual Meeting of the North American Chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education, Vol. 2*, 203 - 209. Rutgers NJ: Rutgers University Press.
- Konold, C. (1991). Understanding students beliefs about probability. In E. von Glasersfeld (Ed.), *Radical Constructivism in Mathematics Education*, 139 - 156. The Netherlands: Kluwer.
- Konold, C. (2002). *Alternatives to scatterplots*. Paper presented at ICOTS-6 the Sixth International Conference on Teaching Statistics, Durban, South Africa.
- Koopmans; L. H. (1982). A new introductory course in statistics. In J. S. Rustagi & D. A. Wolfe (Eds.), *Teaching of Statistics and Statistical Consulting*, 135 - 163. New York: Academic Press.

- Krapp, A. (1992). Das Interessenkonstrukt – Bestimmungsmerkmale der Interessenhandlung und des individuellen Interesses aus der Sicht einer Person-Gegenstands-Konzeption. In A. Krapp & M. Prenzel (Hrsg.), *Interesse, Lernen, Leistung. Neuere Ansätze einer pädagogisch-psychologischen Interessenforschung*, 297 - 329. Münster: Aschendorff.
- Krapp, A. (2001). Interesse. In D. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie*, 286 - 294. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Krapp, A. & Prenzel, M. (Hrsg.) (1992). *Interesse, Lernen, Leistung. Neuere Ansätze einer pädagogisch-psychologischen Interessenforschung*. Münster: Aschendorff.
- Krause, U.-M. & Stark, R. (2004). Too much of a good thing? Unwanted side effects of successful instructional interventions. In P. Gerjets, P. A. Kirschner, J. Elen & R. Joiner (Eds.), *Instructional design for effective and enjoyable computer-supported learning* (CD-ROM). Tübingen: Knowledge Media Research Center.
- Krause, U.-M. & Stark, R. (im Druck). Vorwissen aktivieren. Erscheint in H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien*. Göttingen: Hogrefe.
- Kruppa, K., Mandl, H. & Hense, J. (2002). *Nachhaltigkeit von Modellversuchsprogrammen am Beispiel des BLK-Programms SEMIK* (Forschungsbericht Nr. 150). München: Ludwig-Maximilians-Universität, Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie.
- Kunz, G. C. (1992). Zur differentiellen Bedeutung kognitiver, metakognitiver und motivationaler Variablen für das effektive Lernen mit Instruktionstexten und Bildern. In: H. Friedrich & H. Mandl (Hrsg.). *Lernstrategien und Denkstrategien*; 213 - 229. Göttingen: Hogrefe.
- Lan, W. Y., Bradley, L. & Parr, G. (1993). The effects of a self-monitoring process on college students' learning in an introductory statistics course. *The Journal of Experimental Education*, 62, 26 - 40.
- Land, S. M. & Greene, B. A. (2000). Projectbased learning with the World Wide Web: A qualitative study of resource integration. *Educational Technology Research & Development*, 48 (1), 45 - 68.
- Langer E J (1989). *Mindfulness*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Lawless, K. A. & Brown, S. (1997). Multimedia learning environments: *Issues of learner control and navigation*. *Instructional Science*, 25, 117 - 131.
- Lewalter, D. (2003). Cognitive strategies for learning from static and dynamic visuals. *Learning and Instruction*, 13, 177 - 189.
- Lin, X. & Lehman, J. D. (1999). Supporting learning of variable control in a computer-based biology environment: Effects of prompting college students to reflect on their own thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 36 (7), 837 - 858.
- Litz, H.P. (1998). *Statistische Methoden in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften* (2. Aufl.). München: Oldenburg.
- Liu, H.J. (1998). *A cross-cultural study of sex differences in statistical reasoning for*

- college students in Taiwan and the United States*. Doctoral dissertation, University of Minnesota, Minneapolis.
- Lovett, M.C. (2001). A Collaborative convergence on studying reasoning processes: A case study in statistics. In S. Carver & D. Klahr (Eds.), *Cognition and instruction: Twenty-five years of progress*, 347 - 384. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Lovett, M.C. & Greenhouse, J. B. (2000). Applying cognitive theory to statistics instruction. *The American Statistician*, 54 (3), 196 - 206.
- Lowe, R. K. (1999). Extracting information from an animation during complex visual learning. *European Journal of Psychology of Education*, 14 (2), 225 - 244.
- Mandl, H., Gruber, H. & Renkl, A. (1993). Misconceptions and knowledge compartmentalization. In G. Strube & K. F. Wender (Eds.), *The cognitive psychology of knowledge*, 161 - 176. Amsterdam: North-Holland.
- Mandl, H., Gruber, H. & Renkl, A. (1994). Zum Problem der Wissensanwendung. *Unterrichtswissenschaft*, 22, 233 - 242.
- Mandl, H. & Krause, U.-M. (2003). Learning competence for the knowledge society. In N. Nistor, S. English, S. Wheeler & M. Jalobeanu (Eds.), *Toward the virtual university: International online perspectives*, 65-86. Greenwich, CT: Information Age Publishing.
- Marasinghe, M. G., Meeker, W. Q., Cook, D., and Shin, T. (1996). Using graphics and simulation to teach statistical concepts. *The American Statistician*, 50, 342 - 351.
- Marchionini, G. (1990). Evaluating hypermedia-based learning. In D. H. Jonassen & H. Mandl (Eds.), *Designing hypermedia for learning*, 355 - 373. Berlin: Springer.
- Marshall, S. (1995). *Schemas in problem solving*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Matusita, K. (1999). *Some remarks on teaching the correlation coefficient*. Paper presented at the at the 52nd ISI meeting of the IASE, Helsinki.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. New York, NY: Cambridge University Press.
- McBride, A. B. (1996). Creating a Critical Thinking Learning Environment: Teaching Statistics to Social Science Undergraduates. *Political Science and Politics*, 29, 517 - 521.
- McKeachie, W. J. (1987). Cognitive skills and their transfer: Discussion. *International Journal of Educational Research*, 11, 707 - 712.
- Meehl, P. (1978). Theoretical risks and tabular asterisks: Sir Karl, Sir Ronald, and the slow progress of soft psychology. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 46 (4), 806 - 834.
- Meehl, P. (1990). Why Summaries of Research on Psychological Theories Are Often Uninterpretable. *Psychological Reports*, 66, 195 - 244.
- Mevarech, Z. R. (1983). A deep structure model of students' statistical misconceptions. *Educational Studies in Mathematics*, 14, 415 - 429.

- Meyer, J. & Shinar, D. (1992). Estimating correlations from scatterplots. *Human Factors*, 34 (3), 335 - 349.
- Mills, J. D. (2002). Using computer simulation methods to teach statistics: a review of the literature. *Journal of Statistics Education* [Online], 10 (1).
- Mittag, K. C. (1992, April). *Using computers to teach the concepts of the central limit theorem*. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, San Francisco, CA.
- Moreno, R. & Mayer, R. E. (1999). Cognitive principles of multimedia learning: The role of modality and contiguity. *Journal of Educational Psychology*, 91, 358 - 368.
- Morris, E., (2001). The Design and Evaluation of Link: a Computer-based Learning System for Correlation. *British Journal of Educational Technology*, 32 (1), 39 - 52.
- Morris, E.J., Joiner, R. & Scanlon, E. (2002). The contribution of computer-based activities to understanding statistics. *Journal of Computer Assisted Learning*, 18 (2), 114 - 124.
- Mory, E. H. (1996). Feedback research. In D. H. Jonassen (Ed.), *Handbook of research for educational communications and technology*, 919 - 956. New York: Macmillan.
- Narciss, S. (2001). *Informative feedback as a bridge from instruction to learning in computer-based trainings*. Paper presented at the 9th European Conference for Research on Learning and Instruction, Fribourg, Switzerland.
- Nisbett, R. E. & Wilson, T. D. (1977). Telling more than we can know. Verbal reports on mental processes. *Psychological Review*, 84, 231 - 259.
- Njoo, M. & de Jong, T. (1993). Supporting exploratory learning by offering structured overviews of hypotheses. In D. M. Towne, T. de Jong & H. Spada (Eds.), *Simulation-based experiential learning*, 207 - 223. Berlin: Springer Publishers.
- Oakes, M. (1986). *Statistical Inference: A Commentary for the Social and Behavioral Sciences*. New York, NY: Wiley.
- Paas, F. G. W. C. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 84, 429 - 434.
- Paas, F. G. W. C. & Van Merriënboer, J. J. G. (1994). Variability of worked examples and transfer of geometrical problem-solving skills: a cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 86, 122 - 133.
- Packard, A. L. (1993, October). *A comparison of three methods of teaching statistics*. Paper presented at the Annual Conference of the American Educational Research Association, Chicago, IL.
- Palinscar, A. S. & Brown, A. L. (1984). Reciprocal teaching of comprehension-fostering and comprehension-monitoring activities. *Cognition and Instruction*, 1, 117 - 175.

- Paris, S. G. (2002). When is metacognition helpful, debilitating or benign? In P. Chambres, M. Izaute & P. J. Marescaux (Eds.), *Metacognition: Process, Function and Use*, 105 - 121. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Paris, S. G. & Lindauer, B. K. (1982). The development of cognitive skills during childhood. In B. B. Wolman (Ed.), *Handbook of developmental psychology*, 333 - 349. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Paris, S. G. & Winograd, P. W. (1990). How metacognition can promote academic learning and instruction. In B.J. Jones & L. Idol (Eds.), *Dimensions of thinking and cognitive instruction*, 15 - 51. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Paris, S.G. & Winograd, P. W. (1998). *The role of self-regulated learning in contextual teaching: Principles and practices for teacher preparation*. [On-Line], available at: <http://www.contextual.org/docs/10-PAR1.pdf>
- Park, O.-C. & Hopkins, R. (1993). Instructional conditions for using dynamic visual displays: A review. *Instructional Science*, 21, 427 - 449.
- Pekrun, R. (1988). *Emotion, Motivation und Persönlichkeit*. München: Psychologie Verlags Union.
- Pereira-Mendoza, L. et al (Eds.) (1998). *Statistical Education-Expanding the Network. Proceedings of the Fifth International Conference on Teaching Statistics, Vol. 1 - 3*. Voorburg, The Netherlands: International Statistical Institute.
- Perkins, D. & Salomon, G. (1992). Transfer of Learning. *International Encyclopedia of Education*, (2nd ed.). Oxford: Pergamon Press.
- Pintrich, P. R., Marx, R. W. & Boyle, R. A. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63, 167 - 199.
- Plass, J. L. (2005). Aktuelle Trends in der Forschung zu Hypertext- und Hypermediasystemen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 19 (1/2), 77 - 83.
- Pollatsek, A., Well, A.D., Konold, C. & Hardiman, P. (1987). Understanding conditional probabilities. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 40, 225 - 269.
- Pressley, M., Borkowski, J. G. & Schneider, W. (1987). Cognitive strategies: Good strategy users coordinate metacognition and knowledge. In R. Vasta & G. Whitehurst (Eds.), *Annals of Child Development, Vol. 5*, 89 - 129. New York: JAI Press.
- Pressley, M. & Ghatala, E. S. (1990). Self-regulated learning: Monitoring learning from text. *Educational Psychologist*, 25, 19 - 33.
- Pridemore, D. R. & Klein, J. D. (1991). Control of feedback in computer-assisted instruction. *Educational Technology Research & Development*, 39 (4), 27 - 32.
- Quilici, J. L. & Mayer, R. E. (1996). Role of examples in how students learn to categorize statistics word problems. *Journal of Educational Psychology*, 88 (1), 144 - 161.

- Ranzijn, F. J. A. (1991). The number of video examples and the dispersion of examples as instructional design variables in teaching concepts. *Journal of Experimental Education*, 59, 320 - 330.
- Reed, S. K., Dempster, A. & Ettinger, M. (1985). Usefulness of analogous solutions for solving algebra word problems. *Journal of experimental psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 11, 106 - 125.
- Reigeluth, C. M. & Schwartz, E. (1989). An instructional theory for the design of computer-based simulations. *Journal of Computer-Based Instruction*, 16 (1), 1 - 10.
- Reimann, P. (1997). *Lernprozesse beim Wissenserwerb aus Beispielen*. Bern: Huber.
- Renkl, A. (1993). Korrelation und Kausalität: Ein ausreichend durchdachtes Problem in der pädagogisch-psychologischen Forschung? In C. Tarnai (Hrsg.), *Beiträge zur empirischen pädagogischen Forschung*, 115 - 123. Münster: Waxmann.
- Renkl, A. (1996a). Vorwissen und Schulleistung. In J. Möller & O. Köller (Hrsg.), *Emotionen, Kognitionen und Schulleistung*, 175 - 190. Weinheim: Beltz.
- Renkl, A. (1996b). Träges Wissen: Wenn Erlerntes nicht genutzt wird. *Psychologische Rundschau*, 47, 78 - 92.
- Renkl, A. (1997). Learning from worked-out examples: A study on individual differences. *Cognitive Science*, 21, 1 - 29.
- Renkl, A. (2001). Explorative Analysen zur effektiven Nutzung von instruktionalen Erklärungen beim Lernen aus Lösungsbeispielen. *Unterrichtswissenschaft*, 29 (1), 41 - 63.
- Renkl, A. (2002). Learning from worked-out examples: Instructional explanations supplement self-explanations. *Learning & Instruction*, 12, 529 - 556.
- Renkl, A. & Atkinson, R. K. (in press). Cognitive skill acquisition: Ordering instructional events in example-based learning. F. E. Ritter, J. Nerb, E. Lehtinen, T. O'Shea (Eds.), *In order to learn: How ordering effect in machine learning illuminate human learning and vice versa*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Renkl, A., Atkinson, R. K. & Große, C. S. (2004) How fading worked solution steps works - a cognitive load perspective. *Instructional Science*, 32, 59 - 82.
- Renkl, A., Atkinson, R. K., Maier, U. H. & Staley, R. (2002). From example study to problem solving: Smooth transitions help learning. *Journal of Experimental Education*, 70, 293 - 315.
- Renninger, K. A., Hidi, S. & Krapp, A. (Hrsg.) (1992). *The role of interest in learning and development*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Rieber, L. P. (1990). Animation in computer-based instruction. *Educational Technology Research & Development*, 38, 77 - 86.
- Rieber, L. P., Tzeng, S.-C. & Tribble, K. (in press). Discovery learning, representation, and explanation within a computer-based simulation: Finding the right mix.

Learning and Instruction.

- Richter, T., Naumann, J., Brunner, M. & Christmann, U. (2005). Strategische Verarbeitung beim Lernen mit Text und Hypertext. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 19 (1/2), 5 - 22.
- Richter, T., Naumann, J. & Noller, S. (2003). LOGPAT: A semi-automatic way to analyze hypertext navigation behavior. *Swiss Journal of Psychology*, 62, 113 - 120.
- Roberts, D. M. & Saxe, J. E. (1982). Validity of a statistics attitude survey: A follow-up study. *Educational and Psychological Measurement*, 42, 907 - 912.
- Romiszowski, A. J. (1990). The hypertext/hypermedia solution – But what exactly is the problem?. In D. H. Jonassen & H. Mandl (Eds.), *Designing hypermedia for learning*, 321 - 354. Berlin: Springer.
- Rouet, J.-F. & Levonen, J. J. (1996). Studying and learning with hypertext: Empirical studies and their implications. In J.-F. Rouet, J. J. Levonen; A. Dillon & R. J. Spiro (Eds.), *Hypertext and cognition*, 9 - 23. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Rumelhart, D. E. (1980). Schemata: The building blocks of cognition. In R. J. Spiro, B.C. Bruce & W. F. Brewer (Eds.), *Theoretical Issues in Reading Comprehension*, 33 - 58. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Rummel, R. J. (1976). *Understanding Correlation*. Honolulu: University of Hawaii, Department of Political Science.
- Salomon, G. & Globerson, T. (1987). Skill may not be enough: The role of mindfulness in learning and transfer. *International Journal of Educational Research*, 11 (6), 623 - 27.
- Sansone, C. (1986). A question of competence: The effects of competence and task feedback an intrinsic interest. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51 (5), 918 - 931.
- Scardamalia, M. & Bereiter, C. (1985). Fostering and development of self-regualtion in children's knowledge processing. In S. F. Chipman, J. W. Segal & R. Glaser (Eds.), *Thinking and learning skills: Research and open questions*, Vol. 2, 563 - 577. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Schau, C. & Mattern, N. (1997). Assessing students' connected understanding of statistical relationships. In I. Gal & J.B. Garfield (Eds.), *The assessment challenge in statistics education*, 91 - 104. Amsterdam: IOS Press.
- Schauble, L., Glaser, R., Raghavan, K. & Reiner, M. (1991). Causal models and experimentation strategies in scientific reasoning. *The Journal of the Learning Sciences*, 1, 201 - 239.
- Scheirer, M. A. & Kraut, R. E. (1979). Increasing educational achievement via self-concept change. *Review of Educational Research*, 49, 131 - 150.
- Schiefele, U. (1996). *Motivation und Lernen mit Texten*. Göttingen: Hogrefe.

- Schiefele, U. & Heinen, S. (2001). Wissenserwerb und Motivation. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie*, 795 - 799. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Schiefele, U. & Köller, O. (2001). Intrinsische und extrinsische Motivation. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie*, 193 - 197. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Schiefele, U., Krapp, A. & Schreyer, I. (1993). Metaanalyse des Zusammenhangs von Interesse und schulischer Leistung. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 25, 120 - 148.
- Schiefele, U. & Schreyer, I. (1994). Intrinsische Lernmotivation und Lernen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 8, 1 - 13.
- Schiefele, U., Winteler, A. & Krapp, A. (1988). Studieninteresse und fachbezogene Wissensstruktur. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 35, 106 - 118.
- Schneider, W. (1985). Developmental trends in the metamemory-memory behavior relationship: An integrative review. In D. L. Forrest-Pressley, G. E. MacKinnon & T. G. Waller (Eds.), *Cognition, metacognition, and human performance, Vol.1*, 57 - 109. New York: Academic Press.
- Schneider, W. & Hasselhorn, M. (1988). Metakognitionen bei der Lösung mathematischer Probleme: Gestaltungsperspektiven für den Mathematikunterricht. *Heilpädagogische Forschung*, 14, 113 - 118.
- Schneider, W., Körkel, J. & Weinert, F. E. (1987). The effects of intelligence, self-concept, and attributional style on metamemory and memory behavior. *International Journal of Behavioural Development*, 10, 281 - 299.
- Schneider, W. & Pressley, M. (1997). *Memory development between 2 and 20*. New York: Springer.
- Schnotz, W. (1994). *Aufbau von Wissensstrukturen*. Weinheim: Beltz.
- Schnotz, W., Böckheler, J., Grzondziel, H., Gärtner, I. & Wächter, M. (1998). Individuelles und kooperatives Lernen mit interaktiven animierten Bildern [Individual and cooperative learning with interactive animated pictures]. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 12 (2/3), 135 - 145.
- Schnotz, W., Böckheler, J. & Grzondziel, H. (1999). Individual and co-operative learning with interactive animated pictures. *European Journal of Psychology of Education*, 14 (2), 245 - 265.
- Schoenfeld, A. H. (1985). *Mathematical problem solving*. New York: Academic Press.
- Schram, C. M. (1996). A meta-analysis of gender differences in applied statistics achievement. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 21 (1), 55 - 70.
- Schraw, G. (1998). Promoting general metacognitive awareness. *Instructional Science*, 26, 113 - 125.
- Schraw, G. (2001). Promoting General Metacognitive Awareness. In H. J. Hartman (Ed.),

- Metacognition in learning and instruction: Theory, Research and Practice*, 3 - 16. The Netherlands : Kluwer Academic Publishers.
- Schulmeister, R. (Hrsg.) (1983). *Angst vor Statistik. Empirische Untersuchungen zum Problem des Statistik-Lehrens und -Lernens*. Hamburg: Arbeitsgemeinschaft für Hochschuldidaktik.
- Schulmeister, R. (1997). *Grundlagen hypermedialer Lernsysteme* (2. Aufl.). München: Oldenburg.
- Schulmeister, R. & Birkhan, G (1983). Untersuchung kognitiver Probleme beim Lernen der Statistik: Denkniveaus und kognitive Komplexität. In R. Schulmeister (Ed.), *Angst vor Statistik. Empirische Untersuchungen zum Problem des Statistik-Lehrens und -Lernens*. Hamburg: Arbeitsgemeinschaft für Hochschuldidaktik.
- Schunk, D. H. (1991). Self-efficacy and academic motivation. *Educational Psychologist*, 26, 207 - 231.
- Schutz, P. A., Drogosz, L.M., White, V.E. & Distefano, C. (1998). Prior Knowledge, Attitude, and Strategy Use in an Introduction to Statistics Course. *Learning and Individual Differences*, 10 (4), 291 - 308.
- Schwarzer, R., Seipp, B. & Schwarzer, C. (1989). Mathematics performance and anxiety: A meta-analysis. In R. Schwarzer, H. M. van der Ploeg & C. D. Spielberger (Hrsg.), *Advances in test anxiety research*, Bd. 6, 105 - 119. Lisse: Swets & Zeitlinger.
- Sedlmaier, P. & Gigerenzer, G. (1989). Do studies of statistical power have an effect on the power of studies? *Psychological Bulletin*, 105, 309 - 316.
- Seufert, T. (2003). Supporting coherence formation in learning from multiple representations. *Learning and Instruction*, 13 (2), 227 - 237.
- Shaughnessy, M. J. (1977). Misconceptions of probability: an experiment with a small group, activity-based, model building approach to introductory probability at the college level. *Educational Studies in Mathematics*, 8, 295 - 316.
- Shavelson, R. J., Hubner, J. J. & Stanton, G. C. (1976). Self-concept: Validation of construct interpretations. *Review of Educational Research*, 46, 407 - 441.
- Short, E. J. & Weissberg-Benchell, J. A. (1989). The triple alliance for learning: cognition, metacognition, and motivation. In C. B. McCormick, G. Miller & M. Pressley (Eds.), *Cognitive strategy research: From basic research to educational application*, 33 - 63. New York: Springer.
- Simons, P. R. J. & De Jong, F. P. (1992). Self-regulation and computer-assisted instruction. *Applied Psychology: An International Review*, 41, 333 - 346.
- Smith, J.P., di Sessa, A. A. & Roschelle, J. (1993). Misconceptions reconceived: a constructivist analysis of knowledge in transition. *The Journal of the Learning Sciences*, 3 (2), 115 - 163.
- Snee, R. D. (1993). What's missing in statistical education? *The American Statistician*, 47 (2).

- Songer, C. J. & Mintzes, J. J. (1994). Understanding cellular respiration: an analysis of conceptual change in college biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 621 - 637.
- Spiro, R. J., Coulson, R. L., Feltovich, P. J. & Anderson, D. K. (1988). Cognitive flexibility theory: Advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. In *Tenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (Hrsg.), 375 - 383. Hillsdale: Erlbaum.
- Spiro, R., Feltovich, P. J., Jacobson, M. J. & Coulson, R. L. (1991). Cognitive flexibility, constructivism, and hypertext: Random access instruction for advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. *Educational Technology*, 31 (5), 24 - 33.
- Stark, R. (1999). *Lernen mit Lösungsbeispielen. Einfluss unvollständiger Lösungsbeispiele auf Beispiellelaboration, Lernerfolg und Motivation*. Göttingen: Hogrefe.
- Stark, R. (2000). Experimentelle Untersuchungen zur Überwindung von Transferproblemen in der kaufmännischen Erstausbildung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 46, 395 - 415.
- Stark, R. (2001). *Analyse und Förderung beispielbasierten Lernens: Anwendung eines integrativen Forschungsparadigmas*. München: Unveröff. Habilitationsschrift, Ludwigs-Maximilians-Universität, Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie.
- Stark, R. (2004a). Eine integrative Forschungsstrategie zur anwendungsbezogenen Generierung relevanten wissenschaftlichen Wissens in der Lehr-Lern-Forschung. *Unterrichtswissenschaft*, 32 (3), 257 - 273.
- Stark, R. (2004b). Implementing example-based learning and teaching in the context of vocational school education in business administration. *Learning Environments Research*, 7, 143 - 163.
- Stark, R. (2004c, September). *Probleme Studierender beim wissenschaftlichen Argumentieren*. Vortrag auf der 65. Tagung der Arbeitsgruppe für Empirische Pädagogische Forschung (AEPF) in Nürnberg.
- Stark, R., Bürg, O & Mandl, H. (2002). *Optimierung einer Virtuellen Lernumgebung zum Erwerb Anwendbaren Wissens im Bereich empirischer Forschungsmethoden und Statistik: Effekte von Strukturierungsmaßnahmen* (Forschungsbericht Nr. 151). München: Ludwig-Maximilians-Universität, Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie.
- Stark, R., Flender, J. & Mandl, H. (2001, September). *Entwicklung, Implementation und Evaluation eines beispielbasierten Instruktionsansatzes zur Förderung des Erwerbs anwendbaren Wissens im Bereich empirischer Forschungsmethoden*. Vortrag auf der 61. Tagung für Empirisch Pädagogische Forschung (AEPF), Schwäbisch-Gmünd.

- Stark, R., Graf, M., Renkl, A., Gruber, H. & Mandl, H. (1995). Förderung von Handlungskompetenz durch geleitetes Problemlösen und multiple Lernkontexte. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 27, 289 - 312.
- Stark, R., Gruber, H., Mandl, H., Renkl, A. & Hinkofer, L. (1999). Lernen mit Lösungsbeispielen im Bereich des kaufmännischen Rechnens: Möglichkeiten der Optimierung einer Lernmethode. *Wirtschaft und Erziehung*, 51, 316 - 318.
- Stark, R., Gruber, H., Mandl, H., Renkl, A. & Hinkofer, L. (2001). Wege zur Optimierung eines beispielbasierten Instruktionsansatzes: Der Einfluss multipler Perspektiven und instruktionaler Erklärungen auf den Erwerb von Handlungskompetenz. *Unterrichtswissenschaft*, 29, 26 - 40.
- Stark, R., Gruber, H., Renkl, A. & Mandl, H. (1998). Instructional effects in complex learning: Do objective and subjective learning outcomes converge? *Learning & Instruction*, 8, 117 - 129.
- Stark, R., Gruber, H., Renkl, A. & Mandl, H. (2000). Instruktionale Effekte einer kombinierten Lernmethode: Zahlt sich die Kombination von Lösungsbeispielen und Problemlöseaufgaben aus? *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 14, 205 - 217.
- Stark, R., Hinkofer, L. & Mandl, H. (2001). *Beispielbasiertes Lernen im Bereich Buchführung: Einfluss instruktionaler Erklärungen und multipler Perspektiven auf Lernverhalten und Lernerfolg* (Forschungsbericht Nr. 134). München: Ludwig-Maximilians-Universität, Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie.
- Stark, R. & Mandl, H. (2000). Konzeptualisierung von Motivation und Motivierung im Kontext situierten Lernens. In U. Schiefele & K.-P. Wild (Hrsg.), *Interesse und Lernmotivation: Untersuchungen zu Entwicklung, Förderung und Wirkung*, 95 - 116. Münster: Waxmann.
- Stark, R. & Mandl, H. (2001). *Entwicklung, Implementation und Evaluation eines beispielbasierten Instruktionsansatzes zur Förderung von Handlungskompetenz im Bereich empirischer Forschungsmethoden* (Forschungsbericht Nr. 141). München: Ludwig-Maximilians-Universität, Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie.
- Stark, R. & Mandl, H. (2002). "Unauffällige", "Vorwissensschwache", "Unmotivierte" und "Musterschüler": homogene Untergruppen beim Lernen mit einem komplexen Lösungsbeispiel im Bereich empirischer Forschungsmethoden (Forschungsbericht Nr. 147). München: Ludwig-Maximilians-Universität, Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie.
- Stark, R. & Mandl, H. (2005). Lernen mit einer netzbasierten Lernumgebung im Bereich empirischer Forschungsmethoden: Effekte zusätzlich implementierter Maßnahmen und Bedeutung von Lernvoraussetzungen. *Unterrichtswissenschaft*, 33 (1), 3 - 29.

- Stark, R., Stegmann, K. & Mandl, H. (2002). *Konzeption einer netzbasierten Lernumgebung zur Förderung des Wissenserwerbs im Kontext der Ausbildung in empirischen Forschungsmethoden und Statistik*. (Forschungsbericht Nr. 152). München: Ludwig-Maximilians-Universität, Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie.
- Stegmann, K. (2002). *NetBite, ein virtuelles Tutorium für die empirischen Forschungsmethoden in der Pädagogik. Konzeption und Evaluation*. München: Unveröffentlichte Magisterarbeit. Ludwig-Maximilians-Universität, Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie.
- Stelzl, I. (1982). *Fehler und Fallen in der Statistik*. Bern: Huber.
- Sullivan, M. M. (1993). *Students learn statistics when they assume a statistician's role*. Paper presented at the 19th Annual Conference of the American Mathematical Association of Two-Year Colleges, Boston, MA.
- Swanson, H. L. (1990). Influence of metacognitive knowledge and aptitude on problem solving. *Journal of Educational Psychology*, 82, 306 - 314.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving : Effects on learning. *Cognitive Science*, 12, 257 - 285.
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty and instructional design. *Learning and Instruction*, 4 , 295 - 312.
- Sweller, J. & Chandler, P. (1994). Why some material is difficult to learn. *Cognition and Instruction*, 12 (3), 185 - 233.
- Sweller, J. Chandler, P., Tierney, P. & Cooper, M. (1990). Cognitive load as a factor in the structuring of technical material. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119, 179 - 193.
- Sweller, J. & Cooper, G. A. (1985). The use of worked examples as a substitute for problem solving in learning algebra. *Cognition and Instruction*, 2, 59 - 89.
- Sweller, J., Van Merriënboër, J. J. G. & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10, 251 - 296.
- Tarmizi, R. A. & Sweller, J. (1988). Guidance during mathematical problem solving. *Journal of Educational Psychology*, 80 (4), 424 - 436.
- Tempelaar, D. (2002). *Modelling students learning of introductory statistics*. Paper presented at ICOTS-5 the Fifth International Conference on Teaching Statistics, Cape Town, South Africa.
- Tergan, S.-O. (1997). Hypertext und Hypermedia: Konzeption, Lernmöglichkeiten, Lernprobleme. In: L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia*, 123 - 138. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Van Merriënboer, J. J. G. (1997). *Training complex cognitive skills*. Engelwood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.
- Veenman, M. V. J. (1993). *Metacognitive ability and metacognitive skill: Determinants*

- of discovery learning in computerized learning environments*. Amsterdam: University of Amsterdam Press.
- Velleman, P. F., and Moore, D. S. (1996). Multimedia for teaching statistics: Promises and pitfalls. *The American Statistician*, 50, 217 - 225.
- Ward, M. & Sweller, J. (1990). Structuring effective worked examples. *Cognition and Instruction*, 7, 1 - 39.
- Weaver, C. A., III & Kelemen, W. L. (2002). Comparing processing-based, stimulus-based, and subject-based factors in metacognition: Evidence against a general metacognitive ability. In P. Chambres, M. Izaute & P. J. Marescaux (Eds.), *Metacognition: Process, Function and Use*, 49 - 60. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Webel, R. (1983). Die institutionellen Bedingungen für die Methodenreform am Fachbereich Psychologie der Universität Hamburg. In R. Schulmeister (Hrsg.), *Angst vor Statistik. Empirische Untersuchungen zum Problem des Statistik-Lehrens und Lernens*, 5 - 16. Hamburg: Arbeitsgemeinschaft für Hochschuldidaktik.
- Weinert, F. E., Schrader, F.-W. & Helmke, A. (1989). Quality of instruction and achievement outcomes. *International Journal of Education Research*, 13, 895 - 914.
- Weldon, K. L. (2000). A Simplified Introduction to Correlation and Regression. *Journal of Statistics Education* [Online], 8 (3).
- Well, A. D., Pollatsek, A. & Boyce, S. (1990). Understanding the effects of sample size in the mean. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 47, 289 - 312.
- Wild, C. J. & Pfannkuch, M. (1999). Statistical thinking in empirical enquiry. *International Statistical Review*, 67, 223 - 265.
- Wild, E., Hofer, M. & Pekrun, R. (2001). Lernmotivation. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch* (4. Aufl.), 218 - 242. Weinheim: Beltz Psychologie Verlags Union.
- Wise, S. L. (1985). The development and validation of a scale measuring attitudes toward statistics. *Educational and Psychological Measurement*, 45, 101 - 104.
- Wottawa, H. (1990). Einige Überlegungen zu (Fehl-)Entwicklungen der psychologischen Methodenlehre. *Psychologische Rundschau*, 41, 84 - 107.

Anhang

Anhang 1a: Wissenstest zur Korrelationsrechnung

Teil A

Beantworten Sie bitte die nachfolgenden Fragen möglichst kurz.

Frage 1:

Was misst der Korrelationskoeffizient?

Frage 2:

Was ist ein Ausreißer?

Frage 3:

Angenommen, Sie haben ein Streudiagramm für zwei Variablen X und Y vor Augen, woran sehen Sie, ob zwischen X und Y ein linearer Zusammenhang besteht.

Frage 4:

Korrigieren Sie den nachfolgenden Satz so, dass sich eine richtige Aussage ergibt:
„Wenn der Korrelationskoeffizient die Größe $r = 0$ hat, dann hat die Regressionsgerade eine positive Steigung und alle Datenpunkte liegen auf ihr.“

Teil B

Sie sind Wissenschaftler an einem pädagogisch-psychologischen Institut. Zusammen mit Ihren Mitarbeitern haben sie eine neue Lernmethode zur Wahrscheinlichkeitsrechnung entwickelt, die sie nun in einem zweiwöchigen Pilotprojekt an studentischen Teilnehmern eines Statistikkurses erproben.

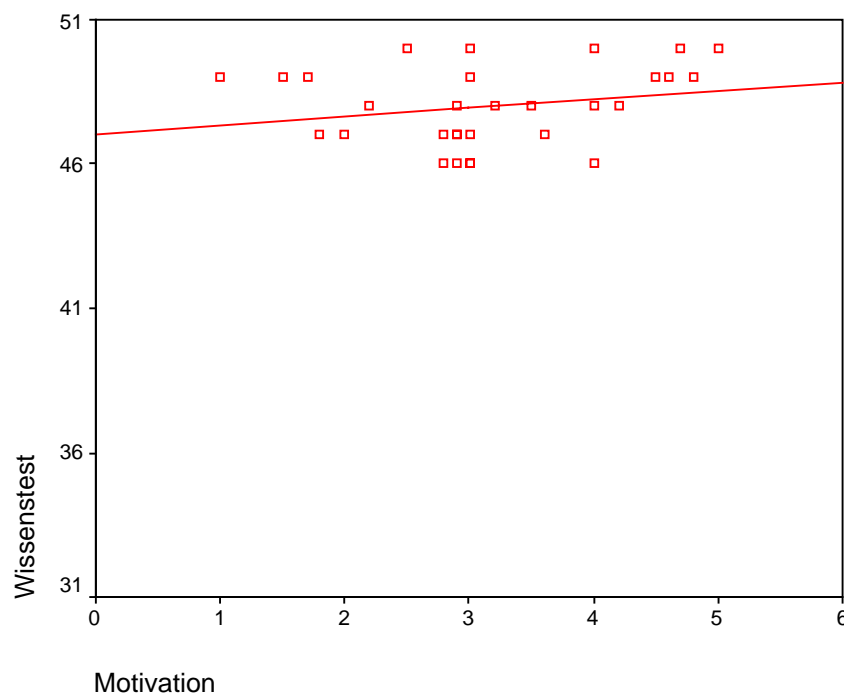
Aufgabe 1:

Nach einer Woche erheben sie Daten zur Motivation von 15 Studenten. Gefragt wurde nach der Akzeptanz der neuen Lernmethode und dem Interesse an Wahrscheinlichkeitsrechnung. Diese zwei Skalen wurden zu einer Gesamtskala (auf einer Skala von 1 bis 5, mit 5 als der höchsten Motivation) zusammengefasst. Außerdem führen sie einen kleinen Wissenstest zur Wahrscheinlichkeitsrechnung durch, bei dem maximal 50 Punkte erreichbar waren.

Zu ihrer Überraschung korrelierte der Gesamtscore „Motivation“ mit der Leistung im Wissenstest nur niedrig ($r = .23$). Sie haben jedoch einen starken Zusammenhang in der Größenordnung von .6 bis .8 erwartet.

Frage:

Lässt sich aus diesem Befund schließen, dass zwischen der Motivation der Studenten und ihren Leistungen nur ein schwacher Zusammenhang besteht? Begründen Sie Ihre Antwort.



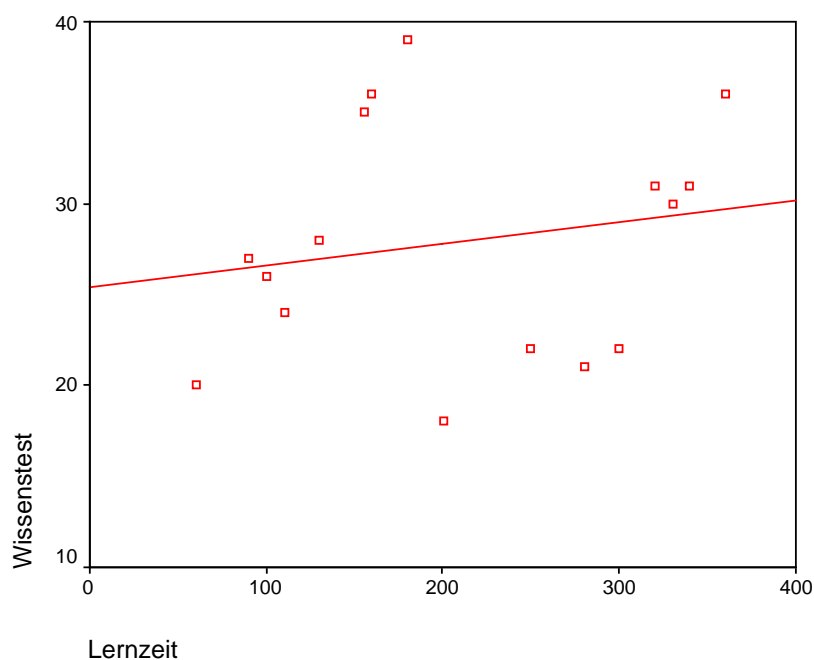
Aufgabe 2:

Die neue Lernmethode eignet sich vor allem zum autodidaktischen Studium am Computer. Sie überlassen es jedoch den Studenten, wie lange sie sich mit den Lerninhalten beschäftigen wollen. Am Ende Ihres Pilotprojekts vergleichen Sie die Lernzeit von 16 Studenten mit deren Leistungen, die sie mit einem neu entwickelten Wissenstest zur Wahrscheinlichkeitsrechnung erheben. Dieser Test hat ein theoretisches Maximum von 40 Punkten, die Lernzeit wurde in Minuten gemessen. Außerdem haben Sie Daten zum Geschlecht und dem Alter der Studenten und deren Noten aus einem Mathematiktest, den sie vor Beginn der Untersuchung durchführten.

Wider Erwarten beträgt die Korrelation zwischen der Lernzeit und der Leistung im Wissenstest gleich .18. Sie haben mit einer weitaus höheren Korrelation gerechnet.

Frage:

Gibt die Höhe des Korrelationskoeffizienten in der Größenordnung von $r = .18$ die „tatsächliche“ Stärke des Zusammenhangs von Lernzeit und Leistung im Wissenstest wieder? Beantworten Sie diese Frage anhand des Streudiagramms und der Tabelle.



Proband	Wissenstest	Lernzeit	Alter	Geschlecht	Note im Mathematiktest
1	36	360	20	m	3
2	31	340	21	w	4
3	30	330	22	w	4
4	31	320	21	m	3
5	22	300	23	m	3
6	21	280	21	w	3
7	22	250	20	w	4
8	18	200	22	w	3
9	39	180	21	w	1
10	36	160	20	w	2
11	35	155	19	m	1
12	28	130	22	m	2
13	24	110	23	w	2
14	26	100	19	m	2
15	27	90	22	m	1
16	20	60	23	w	1

Aufgabe 3:

In einer weiteren Untersuchung fordern Sie die Probanden auf, beim Arbeiten mit der neuen Lernmethode laut zu denken. Die Lautdenkprotokolle durchforsten Sie anschließend nach sogenannten prinzipienbasierten Überlegungen. (Prinzipienbasierte Überlegungen anzustellen, heißt bei der Lösung einer Aufgabe eine allgemeine Regel, einen Lehrsatz oder ähnliches zu Hilfe zu nehmen, z. B. „Also um diese Aufgabe zu lösen, brauche ich das Additionstheorem...“).

Sie stellen fest, dass die Anzahl prinzipienbasierter Überlegungen während der Arbeit mit der neuen Lernmethode und die späteren Leistungen der Probanden im Wissenstest miteinander hoch und positiv korrelieren ($r = .74$).

Frage:

Lässt sich daraus folgern, dass manche Probanden bessere Leistungen erbringen als andere, weil sie mehr prinzipienbasierte Überlegungen anstellen? Oder anders formuliert: Ist die Leistung im Wissenstest ursächlich auf die Anzahl prinzipienbasierter Überlegungen zurückzuführen? Begründen Sie bitte ihre Antwort.

Anhang 1b: Auswertungsschema zum Wissenstest zur Korrelationsrechnung

Teil A

Beantworten Sie bitte die nachfolgenden Fragen möglichst kurz.

Frage 1 (3P):

Was misst der Korrelationskoeffizient?

- 1P: Zusammenhangsmaß**
- 1P: linearer Zusammenhang**
- 1P: Maß für Stärke und Richtung**
- 1BP: intervallskalierte Daten**

Frage 2 (2P):

Was ist ein Ausreißer?

- 1P: Liegt deutlich weit ab von den übrigen Werten der Verteilung**
- 1P: Kann Größenordnung und Vorzeichen des Korrelationskoeffizienten stark verändern**

Frage 3 (2P):

Angenommen, Sie haben ein Streudiagramm für zwei Variablen X und Y vor Augen, woran sehen Sie, ob zwischen X und Y ein linearer Zusammenhang besteht.

- 2P: Datenpunkte lassen sich sinnvoll durch Gerade anpassen**

Frage 4 (1P):

Korrigieren Sie den nachfolgenden Satz so, dass sich eine richtige Aussage ergibt:
„Wenn der Korrelationskoeffizient die Größe $r = 0$ hat, dann hat die Regressionsgerade eine positive Steigung und alle Datenpunkte liegen auf ihr.“

Teil B

Sie sind Wissenschaftler an einem pädagogisch-psychologischen Institut. Zusammen mit Ihren Mitarbeitern haben sie eine neue Lernmethode zur Wahrscheinlichkeitsrechnung entwickelt, die sie nun in einem zweiwöchigen Pilotprojekt an studentischen Teilnehmern eines Statistikkurses erproben.

Aufgabe 1 (5P):

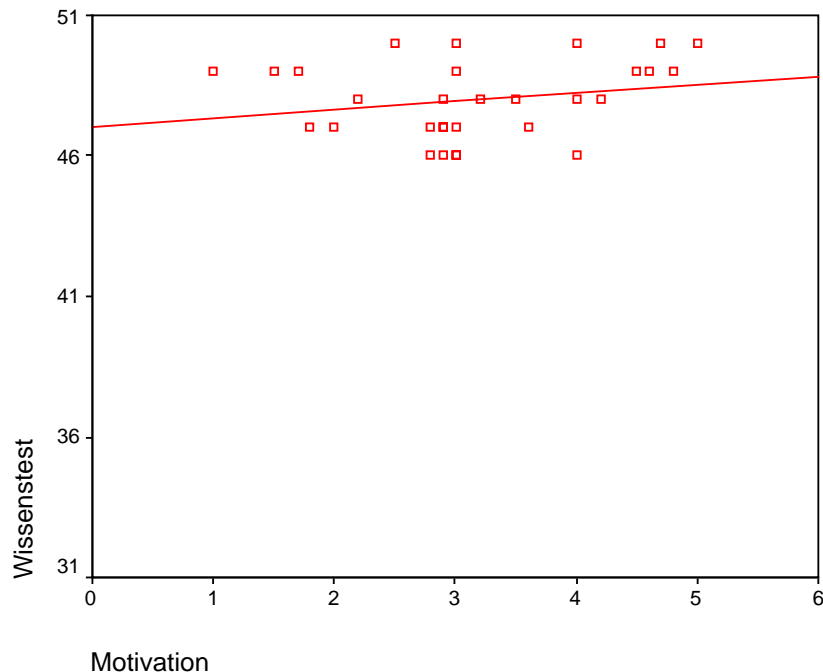
Nach einer Woche erheben sie Daten zur Motivation von 15 Studenten. Gefragt wurde nach der Akzeptanz der neuen Lernmethode und dem Interesse an Wahrscheinlichkeitsrechnung. Diese zwei Skalen wurden zu einer Gesamtskala (auf einer Skala von 1 bis 5, mit 5 als der höchsten Motivation) zusammengefasst. Außerdem führen sie einen kleinen Wissenstest zur Wahrscheinlichkeitsrechnung durch, bei dem maximal 50 Punkte erreichbar waren.

Zu ihrer Überraschung korrelierte der Gesamtscore „Motivation“ mit der Leistung im Wissenstest nur niedrig ($r = .23$). Sie haben jedoch einen starken Zusammenhang in der Größenordnung von .6 bis .8 erwartet.

Frage:

Lässt sich aus diesem Befund schließen, dass zwischen der Motivation der Studenten und ihren Leistungen nur ein schwacher Zusammenhang besteht? Begründen Sie Ihre Antwort.

- 1P: Wertebereich ist eingeschränkt**
- 1P: Korrelation fällt niedriger aus bei Einschränkung des Wertebereichs**
- 3P: Korrelation würde höher ausfallen, wenn Werte im Wissenstest innerhalb eines breiteren Wertebereichs streuen**
- 1BP: der Wissenstest war zu leicht**
- 1BP: der Wissenstest sollte schwieriger gemacht werden**
- 1BP: Deckeneffekt**
- 1AP: für Hinweis auf Störvariable**

**Aufgabe 2 (5P):**

Die neue Lernmethode eignet sich vor allem zum autodidaktischen Studium am Computer. Sie überlassen es jedoch den Studenten, wie lange sie sich mit den Lerninhalten beschäftigen wollen. Am Ende Ihres Pilotprojekts vergleichen Sie die Lernzeit von 16 Studenten mit deren Leistungen, die sie mit einem neu entwickelten Wissenstest zur Wahrscheinlichkeitsrechnung erheben. Dieser Test hat ein theoretisches Maximum von 40 Punkten, die Lernzeit wurde in Minuten gemessen. Außerdem haben Sie Daten zum Geschlecht und dem Alter der Studenten und deren Noten aus einem Mathematiktest, den sie vor Beginn der Untersuchung durchführten.

Wider Erwarten beträgt die Korrelation zwischen der Lernzeit und der Leistung im Wissenstest gleich .18. Sie haben mit einer weitaus höheren Korrelation gerechnet.

Frage:

Gibt die Höhe des Korrelationskoeffizienten in der Größenordnung von $r = .18$ die „tatsächliche“ Stärke des Zusammenhangs von Lernzeit und Leistung im

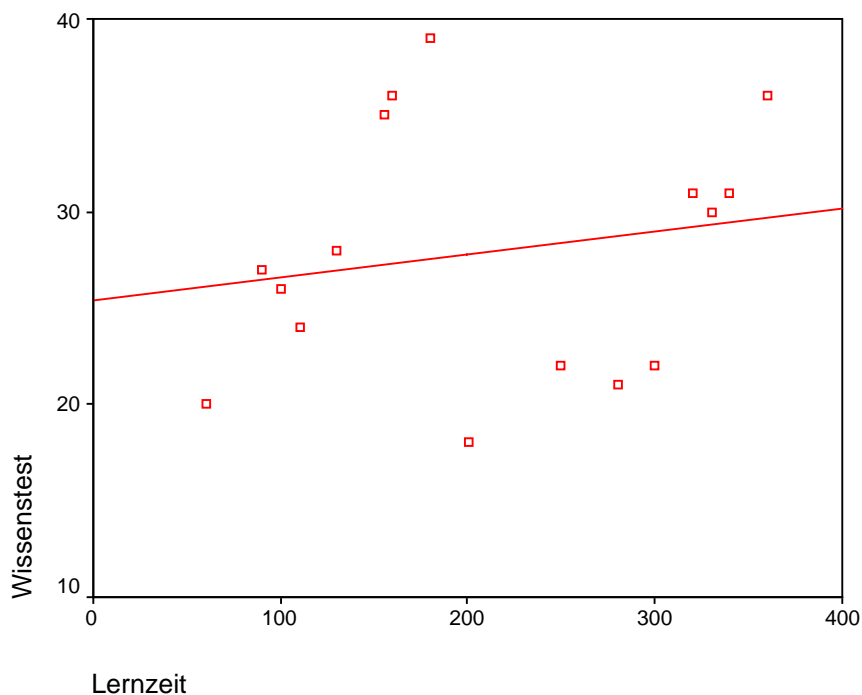
Wissenstest wieder? Beantworten Sie diese Frage anhand des Streudiagramms und der Tabelle.

1P: Gesamtgruppe setzt sich aus *heterogenen* Untergruppen zusammen

2P: Innerhalb der Untergruppen ist Korrelation höher als bei Gesamtgruppe

2P: Korrelationskoeffizient von $r = .18$ ist irreführend in Bezug auf die tatsächliche Stärke des Zusammenhangs von Lernzeit und Leistung., der tatsächlich viel höher ist.

1BP: für Beschreibung der Untergruppen



Proband	Wissenstest	Lernzeit	Alter	Geschlecht	Note im Mathematiktest
1	36	360	20	m	3
2	31	340	21	w	4
3	30	330	22	w	4
4	31	320	21	m	3
5	22	300	23	m	3
6	21	280	21	w	3
7	22	250	20	w	4
8	18	200	22	w	3
9	39	180	21	w	1
10	36	160	20	w	2
11	35	155	19	m	1
12	28	130	22	m	2
13	24	110	23	w	2
14	26	100	19	m	2
15	27	90	22	m	1
16	20	60	23	w	1

Aufgabe 3 (5P):

In einer weiteren Untersuchung fordern Sie die Probanden auf, beim Arbeiten mit der neuen Lernmethode laut zu denken. Die Lautdenkprotokolle durchforsten Sie anschließend nach sogenannten prinzipienbasierten Überlegungen. (Prinzipienbasierte Überlegungen anzustellen, heißt bei der Lösung einer Aufgabe eine allgemeine Regel, einen Lehrsatz oder ähnliches zu Hilfe zu nehmen, z. B. „Also um diese Aufgabe zu lösen, brauche ich das Additionstheorem...“.)

Sie stellen fest, dass die Anzahl prinzipienbasierter Überlegungen während der Arbeit mit der neuen Lernmethode und die späteren Leistungen der Probanden im Wissenstest miteinander hoch und positiv korrelieren ($r = .74$).

Frage:

Lässt sich daraus folgern, dass manche Probanden bessere Leistungen erbringen als andere, weil sie mehr prinzipienbasierte Überlegungen anstellen? Oder anders formuliert: Ist die Leistung im Wissenstest ursächlich auf die Anzahl prinzipienbasierter Überlegungen zurückzuführen? Begründen Sie bitte ihre Antwort.

- 2BP: Korrelation ist bestenfalls notwendige aber keine hinreichende Bedingung für Kausalen Zusammenhang**
- 1BP: Anzahl prinzipienbasierter Überlegungen als Mitursache**
- 5P: für eine konkrete Alternativerklärung /3P für eine abstrakte Alternativerklärung**
- 1AP: für Hinweis auf Experiment**
- 1AP: für Hinweis auf Störvariablen**

Anhang 2a: Vorwissenstest**Aufgabe 1:**

Was misst der Korrelationskoeffizient?

Aufgabe 2:

Skizzieren Sie zu jedem der folgenden Korrelationskoeffizienten schematisch ein Streudiagramm mit Regressionsgerade: $r = 0$, $r = 1$, $r = -.7$.

Aufgabe 3:

In einer Untersuchung an 16 Probanden stellt ein Wissenschaftler fest, dass die Variablen „Intelligenz“ und „Studienerfolg“ in Höhe von $r = .12$ korrelieren. Bald findet er heraus, dass diese niedrige Korrelation durch einen sogenannten „Ausreißer“ zustande gekommen ist. Was heißt das?

Anhang 2b: Auswertungsschema zum Vorwissenstest**Aufgabe 1: (3P) + (0,25BP)**

Was misst der Korrelationskoeffizient?

- 1P:** Zusammenhangsmaß
oder 0,25P: Abhängigkeitsmaß oder andere vage Beschreibungen
1P: linearer Zusammenhang
0,5P: Maß für Stärke
+0,5P: und Richtung
0,25BP: intervallskalierte Daten
0,25AP: andere Eigenschaften des Korrelationskoeffizienten

Aufgabe 2: (4P)

Skizzieren Sie zu jedem der folgenden Korrelationskoeffizienten schematisch ein Streuungsdiagramm mit Regressionsgerade: $r = 0$, $r = 1$, $r = -.7$.

 $r = 0$:

- 0,75P:** Gerade parallel zur x oder y-Achse oder kreisförmiger Punkteschwarm ohne Gerade
+0,25P: kreisförmiger Punkteschwarm mit Gerade parallel zur x oder y-Achse

 $r = 1$:

- 0,25P:** Gerade hat positive Steigung
0,75P: Punkte liegen auf Regressionsgerade
oder 0,5P: 45°-Winkel eingezeichnet

 $r = -.7$:

- 0,75P:** Gerade hat negative Steigung
0,25P: plausibler Punkteschwarm um Regressionsgerade
1P: Gerade für $r = 1$ deutlich steiler als Gerade für $r = -.7$

Aufgabe 3: (5P)

In einer Untersuchung an 16 Probanden stellt ein Wissenschaftler fest, dass die Variablen „Intelligenz“ und „Studienerfolg“ in Höhe von $r = .12$ korrelieren. Bald findet er heraus, dass diese niedrige Korrelation durch einen sogenannten „Ausreißer“ zustande gekommen ist. Was heißt das?

1P: Ausreißer liegen in deutlicher Entfernung zu den anderen Datenpunkten

oder 0,5P: für ungenaue/vage Beschreibungen dieses Sachverhalts

+0,5P: *Bezug auf Beispiel*

1P: Ausreißer können den Wert des Korrelationskoeffizienten heben oder senken

oder 0,75: Ausreißer können den Wert des Korrelationskoeffizienten beeinflussen/verzerren

+0,5P: *Bezug auf Beispiel: r sinkt*

0,5P: Frage nach Eliminierung des Ausreißers (z. B. „Ausreißer darf eliminiert werden, wenn es die Datenlage erlaubt“)

+0,75P: *am Beispiel: gute Gründe(!) für Eliminierung/Erklärung für Ausreißer*

oder+0,25P: *am Beispiel: schlechte (!) Gründe für Eliminierung/Erklärung für Ausreißer*

0,75P: Eliminierung des Ausreißers führt zu Erhöhung der Korrelation

Anhang 3a: Nachtestaufgaben

Aufgabe 1:

Was misst der Korrelationskoeffizient?

Aufgabe 2:

Ein Bekannter von Ihnen, der gerade an einer Forschungsarbeit schreibt, bittet Sie um Ihren Rat. Er hat an 20 Psychologiestudenten den Zusammenhang von Prüfungsangst, bezogen auf Statistik, und Prüfungsleistung untersucht. Mit einem gut validierten Fragebogen erhob er die Prüfungsangst der Studenten, außerdem verwendete er einen etablierten Intelligenztest zur Messung der Intelligenz seiner Probanden. Als Maß für die Prüfungsleistung nahm er die Note aus der Statistikprüfung, die seine Probanden vor kurzem absolvierten.

Prüfungsangst und Prüfungsleistung korrelierten in Höhe von $r = -.18$, erwartet hatte Ihr Bekannter jedoch eine Korrelation in der Größenordnung von $r = -.6$.

- a) Wie sollte Ihr Bekannter praktisch vorgehen, um eine mögliche Erklärung für die erwartungswidrig niedrige Korrelation zu finden?
- b) Welche Faktoren kommen eventuell als Erklärung für die erwartungswidrig niedrige Korrelation in Frage?

Aufgabe 3:

Skizzieren Sie zu jedem der folgenden Korrelationskoeffizienten schematisch ein Streudiagramm mit Regressionsgerade: $r = 0$, $r = 1$, $r = -.7$.

Aufgabe 4:

Skizzieren Sie ein Streudiagramm für zwei Variablen zwischen denen **kein** linearer Zusammenhang besteht. Begründen Sie kurz, woran man **sieht**, dass zwischen den Variablen in Ihrem Diagramm kein linearer Zusammenhang besteht.

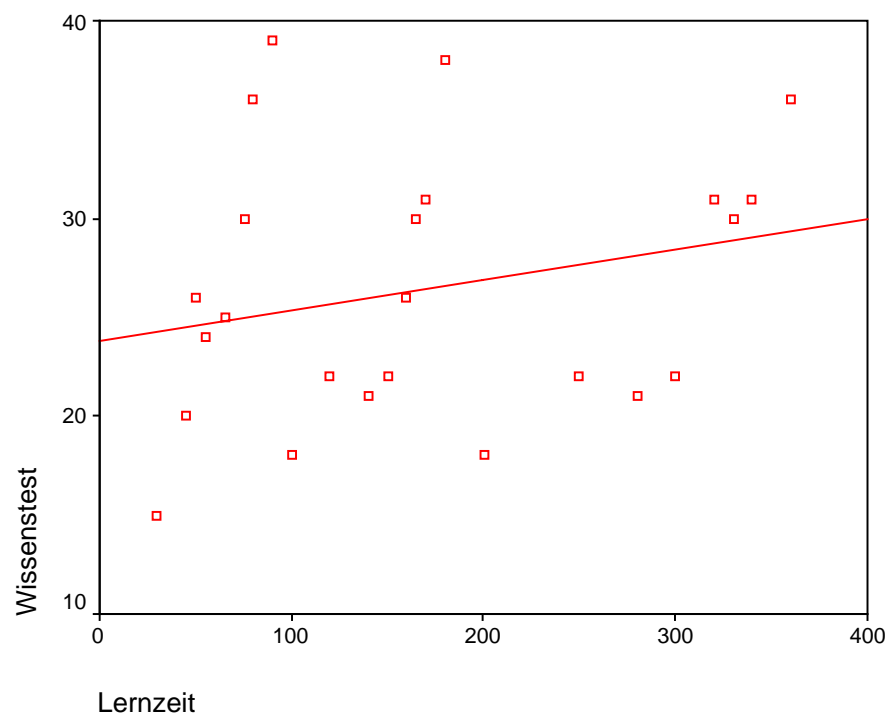
Aufgabe 5:

Ein Wissenschaftler entwickelt eine neue Lernmethode zum kaufmännischen Rechnen, die sich vor allem zum autodidaktischen Studium am Computer eignet.

Am Ende eines Pilotprojekts vergleicht er die Lernzeit von 24 Berufsschülern mit deren Leistungen, die er mit einem Wissenstest zum kaufmännischen Rechnen erhoben hat. Dieser Test hat ein theoretisches Maximum von 40 Punkten, die Lernzeit wurde in Minuten gemessen. Außerdem hat er Daten zum Alter der Studenten und deren Vorerfahrung mit Computern erhoben. Hierbei verwendete er eine Skala von 1 bis 5 (mit 1 = keine Vorerfahrung und 5 = sehr viel Vorerfahrung).

Wider Erwarten beträgt die Korrelation zwischen der Lernzeit und der Leistung im Wissenstest gleich $r = .24$. Sie haben mit einer Korrelation in der Größenordnung von $r = .8$ gerechnet.

Gibt die Höhe des Korrelationskoeffizienten in der Größenordnung von $r = .24$ die „tatsächliche“ Stärke des Zusammenhangs von Lernzeit und Leistung im Wissenstest wieder? Beantworten Sie diese Frage anhand des Streudiagramms und der Tabelle.



Proband	Wissenstest	Lernzeit	Alter	Vorerfahrung mit Computern
1	36	360	20	Keine
2	31	340	21	Keine
3	30	330	22	Keine
4	31	320	21	Keine
5	22	300	23	Keine
6	21	280	21	Keine
7	22	250	20	Keine
8	18	200	22	Keine
9	38	180	21	Mittel
10	31	170	20	Mittel
11	30	165	19	Mittel
12	26	160	22	Mittel
13	22	150	23	Mittel
14	21	140	19	Mittel
15	22	120	22	Mittel
16	18	100	23	Mittel
17	39	90	22	Viel
18	36	80	21	Sehr viel
19	30	76	23	Viel
20	25	65	21	Viel
21	24	55	20	Sehr viel
22	26	50	22	Sehr viel
23	20	45	21	Viel
24	15	30	20	Sehr viel

Anhang 3b: Auswertungsschema zu den Nachtestaufgaben**Aufgabe 1: (3P) + (0,25BP)**

Was misst der Korrelationskoeffizient?

- 1P:** Zusammenhangsmaß
oder 0,25: Abhängigkeitsmaß oder andere Beschreibungen
1P: linearer Zusammenhang
0,5P: Maß für Stärke
+0,5P: und Richtung
0,25BP: intervallskalierte Daten
0,25BP: andere Eigenschaften des Korrelationskoeffizienten

Lernziel für Aufgabe 1 erreicht bei:

- Maß für lineare Zusammenhänge (2P)

Aufgabe 2: (4P) + (0,5BP)

Ein Bekannter von Ihnen, der gerade an einer Forschungsarbeit schreibt, bittet Sie um Ihren Rat. Er hat an 20 Psychologiestudenten den Zusammenhang von Prüfungsangst, bezogen auf Statistik, und Prüfungsleistung untersucht. Mit einem gut validierten Fragebogen erhob er die Prüfungsangst der Studenten, außerdem verwendete er einen etablierten Intelligenztest zur Messung der Intelligenz seiner Probanden. Als Maß für die Prüfungsleistung nahm er die Note aus der Statistikprüfung, die seine Probanden vor kurzem absolvierten.

Prüfungsangst und Prüfungsleistung korrelierten in Höhe von $r = -.18$, erwartet hatte Ihr Bekannter jedoch eine Korrelation in der Größenordnung von $r = -.6$.

- c) Wie sollte Ihr Bekannter praktisch vorgehen, um eine mögliche Erklärung für die erwartungswidrig niedrige Korrelation zu finden?

- 1P:** Streuungsdiagramm und/oder Rohdaten inspizieren
0,25AP: Plausible Alternative

d) Welche Faktoren kommen eventuell als Erklärung für die erwartungswidrig niedrige Korrelation in Frage?

0,5P: Ausreißer

+0,5P: plausible Erklärung (z. B. Ausreißer können den Wert des KK senken)

+0,5P: mit Bezug auf Beispiel

0,5P: heterogene Untergruppen

+0,5P: plausible Erklärung (z. B. heterogene Untergruppen können den Wert des KK für die Gesamtgruppe senken)

+0,5P: mit Bezug auf Beispiel

0,5AP: andere Faktoren/korrekte Beschreibungen derselben Faktoren

+0,5AP: plausible Erklärung (z. B. Ausreißer können den Wert des KK senken)

+0,5AP: mit Bezug auf Beispiel

0,25AP: Plausible Alternative

Lernziel für Aufgabe 2 erreicht bei:

- Streudiagramm und/oder Rohdaten inspizieren (**1P**)
- Nennung eines Faktors + plausible Erklärung (**1P**)

Aufgabe 3: (4P)

Skizzieren Sie zu jedem der folgenden Korrelationskoeffizienten schematisch ein Streudiagramm mit Regressionsgerade: $r = 0$, $r = 1$, $r = -.7$.

$r = 0$:

0,75P: Gerade parallel zur x oder y-Achse oder kreisförmiger Punkteschwarm ohne Gerade

+0,25P: kreisförmiger Punkteschwarm mit Gerade parallel zur x oder y-Achse

$r = 1$:

0,25P: Gerade hat positive Steigung

0,75P: Punkte liegen auf Regressionsgerade

oder 0,75P: 45°-Winkel eingezeichnet

r = -.7:

0,75P: Gerade hat negative Steigung

0,25P: plausibler Punkteschwarm um Regressionsgerade

1P: Gerade für $r = 1$ deutlich steiler als Gerade für $r = -.7$

Lernziel für Aufgabe 3 erreicht bei:

- Jedes Streudiagramm wird mit mindestens 0,75 Punkten bewertet (**2,25P**)
- Zusätzlich wurden 0,5 Punkte vergeben (**0,5P**)

Aufgabe 4: (3P) + (1BP)

Skizzieren Sie ein Streudiagramm für zwei Variablen zwischen denen **kein** linearer Zusammenhang besteht. Begründen Sie kurz, woran man **sieht**, dass zwischen den Variablen in Ihrem Diagramm kein linearer Zusammenhang besteht.

1P: kreisförmiger Punkteschwarm

oder 1P: nicht-linearer Punkteschwarm

2P: Begründung: Die Datenpunkte lassen sich nicht sinnvoll/eindeutig durch (genau) eine Gerade anpassen (1P bei Sätzen wie z. B. „eine Gerade kann gezeichnet werden“)

oder 0,5-2P: unvollständige/fehlerhafte alternative Begründung bis alternative Begründung gleicher Güte wie oben

+0,5BP: sondern durch eine Kurve bei nicht-linearen Zusammenhängen

Lernziel für Aufgabe 4 erreicht bei:

- Kreisförmiger oder nicht-linearer Punkteschwarm (**1P**)
- Die Begründung wurde mit mindestens 1,75 Punkten bewertet (**1,75P**)

Aufgabe 5: (6,5P)

Ein Wissenschaftler entwickelt eine neue Lernmethode zum kaufmännischen Rechnen, die sich vor allem zum autodidaktischen Studium am Computer eignet.

Am Ende eines Pilotprojekts vergleicht er die Lernzeit von 24 Berufsschülern mit deren Leistungen, die er mit einem Wissenstest zum kaufmännischen Rechnen erhoben hat. Dieser Test hat ein theoretisches Maximum von 40 Punkten, die Lernzeit wurde in Minuten gemessen. Außerdem hat er Daten zum Alter der Studenten und deren Vorerfahrung mit Computern erhoben. Hierbei verwendete er eine Skala von 1 bis 5 (mit 1 = keine Vorfahrung und 5 = sehr viel Vorerfahrung).

Wider Erwarten beträgt die Korrelation zwischen der Lernzeit und der Leistung im Wissenstest gleich $r = .24$. Sie haben mit einer Korrelation in der Größenordnung von $r = .8$ gerechnet.

Gibt die Höhe des Korrelationskoeffizienten in der Größenordnung von $r = .24$ die „tatsächliche“ Stärke des Zusammenhangs von Lernzeit und Leistung im Wissenstest wieder? Beantworten Sie diese Frage anhand des Streudiagramms und der Tabelle.

1P: Gesamtgruppe setzt sich aus *drei* heterogenen Untergruppen zusammen

oder 0,5: Gesamtgruppe setzt sich aus heterogenen Untergruppen zusammen

+0,5P: korrekte Beschreibung der Untergruppen

1P: Probanden mit weniger Computervorerfahrung benötigen für vergleichbare Leistungen im Wissenstest mehr Lernzeit als Probanden mit mehr Computererfahrung, Computervorerfahrung als Moderatorvariable

1,5P: Innerhalb der Untergruppen ist Zusammenhang stärker/Korrelation höher als bei Gesamtgruppe

+0,5BP: für korrekte Begründung

+0,25P: Plausible Schätzung der Korrelationskoeffizienten

1P: Korrelationskoeffizient von $r = .24$ ist irreführend in Bezug auf die tatsächliche Stärke des Zusammenhangs von Lernzeit und Leistung,

1P: der tatsächlich viel stärker ist.

+0,25P: Plausible Schätzung des Korrelationskoeffizienten

Lernziel für Aufgabe 5 erreicht bei:

- Nennung von 3 heterogenen Untergruppen (**1P**)
- Computererfahrung als Moderatorvariable oder sinngemäße Beschreibung (**1P**)
- Korrelation von $r = .24$ ist irreführend od. sinngemäße Beschreibung (**1P**)
- Tatsächlicher Zusammenhang stärker (**1P**)

Anhang 4: Skalen zu motivationalen und metakognitiven Lernvoraussetzungen

Skala: Intrinsische Motivation und Interesse an Korrelationsrechnung

1. Ich würde gerne mehr über Korrelationsrechnung wissen, als ich jetzt weiß.
2. Korrelationsrechnung ist mir gleichgültig.
3. Es macht mir Spaß, mich mit Konzepten und Prinzipien der Korrelationsrechnung auseinander zu setzen.
4. Ich bin an Korrelationsrechnung interessiert.
5. Ich bin froh, wenn ich mit Fragen der Korrelationsrechnung wenig zu tun habe.
6. Ich finde die Auseinandersetzung mit Fragen der Korrelationsrechnung spannend.
7. Für mich ist es eine Herausforderung, mehr über Korrelationsrechnung zu lernen.
8. Ich werde mich bemühen, Korrelationsrechnung möglichst gut zu verstehen.
9. Ich sehe nicht ein, warum ich mich im Rahmen eines Lernexperiments anstrengen sollte.
10. Ich will in diesem Experiment möglichst gut abschneiden.
11. Ich freue mich darauf, die Lernumgebung auszuprobieren.
12. Auf die Lernumgebung bin ich richtig neugierig.

Skala: Themenspezifisches Selbstkonzept

1. Ich glaube, dass ich Fragen, die sich im Zusammenhang mit Korrelationsrechnung ergeben, verstehen kann.
2. Korrelationsrechnung ist mir eigentlich zu kompliziert.
3. Ich werde Korrelationsrechnung wohl nie so richtig verstehen.

4. Die korrekte Interpretation korrelations-statistischer Auswertungen fällt mir schwer.
5. Ich schätze meine Leistungsfähigkeit im Gebiet empirischer Forschungsmethoden und Statistik im Vergleich zu anderen Studierenden als überdurchschnittlich ein.
6. Methodenbezogene Inhalte und Statistik zu erlernen fällt mir leicht.
7. Empirische Forschungsmethoden und Statistik gehören zu meinen Stärken.

Skala: Metakognitive Kompetenz

1. Bei der Beschäftigung mit einem neuen Stoffgebiet kann ich gut einschätzen, was ich verstanden habe und was nicht.
2. Es fällt mir nicht schwer, meinen Wissensstand in einem Stoffgebiet zu beurteilen.
3. Ich habe mich beim Lernen eines neuen Stoffgebiets schon oft in der Einschätzung meines Wissensstands getäuscht.
4. Beim Lernen eines neuen Stoffgebiets tendiere ich dazu, meinen Wissensstand zu überschätzen.
5. Ich bin nicht gut darin, in einem neuen Stoffgebiet einzuschätzen, was ich alles (noch) nicht weiß.
6. Ich kann meine Leistungen in einem neuen Stoffgebiet ziemlich genau .
7. Ich bin es gewöhnt, meinen Lernfortschritt beim Lernen in einem neuen Stoffgebiet selbst zu beurteilen.
8. Ich frage mich beim Lernen in einem neuen Stoffgebiet immer wieder, ob ich das Gelesene auch wirklich verstanden habe.
9. Mir ist es am liebsten, wenn mir beim Lernen alles vorgegeben wird.
10. Mir ist es recht, wenn ich beim Lernen viel Entscheidungsfreiheit habe.

Anhang 5: Skalen zu abhängigen Motivationsvariablen

Skala: Akzeptanz der Lernumgebung

1. Was ich mit der Lernumgebung gelernt habe, hätte ich ebenso gut aus einem Buch gelernt.
2. Ich kann meinen Mitstudenten/Mitstudentinnen das Lernen mit der Lernumgebung empfehlen.
3. Das Lernen mit der Lernumgebung ist mir zu aufwendig.
4. Ich habe mit Hilfe der Lernumgebung nicht viel gelernt.
5. Ich würde gerne öfter mit solchen Lernumgebungen lernen.

Skala: Subjektiver Lernerfolg

1. Durch die Lernumgebung habe ich grundlegende Konzepte und Prinzipien der Korrelationsrechnung verstanden.
2. Ich habe jetzt eine Vorstellung davon, wozu Korrelationsrechnung gut ist.
3. Ich habe durch die Lernumgebung gelernt, korrelationsstatistische Auswertungen richtig zu interpretieren.
4. Ich habe jetzt eine Vorstellung davon, wozu Korrelationsrechnung gut ist.

Anhang 6: Biographischer Fragebogen

Alter: _____

Geschlecht: m w

Letzte Mathenote: _____

Haben Sie Mathe abgewählt, wenn ja in welcher Klassenstufe:

Ja wann: _____ Nein

Benötigen Sie das Latinum: Ja Nein

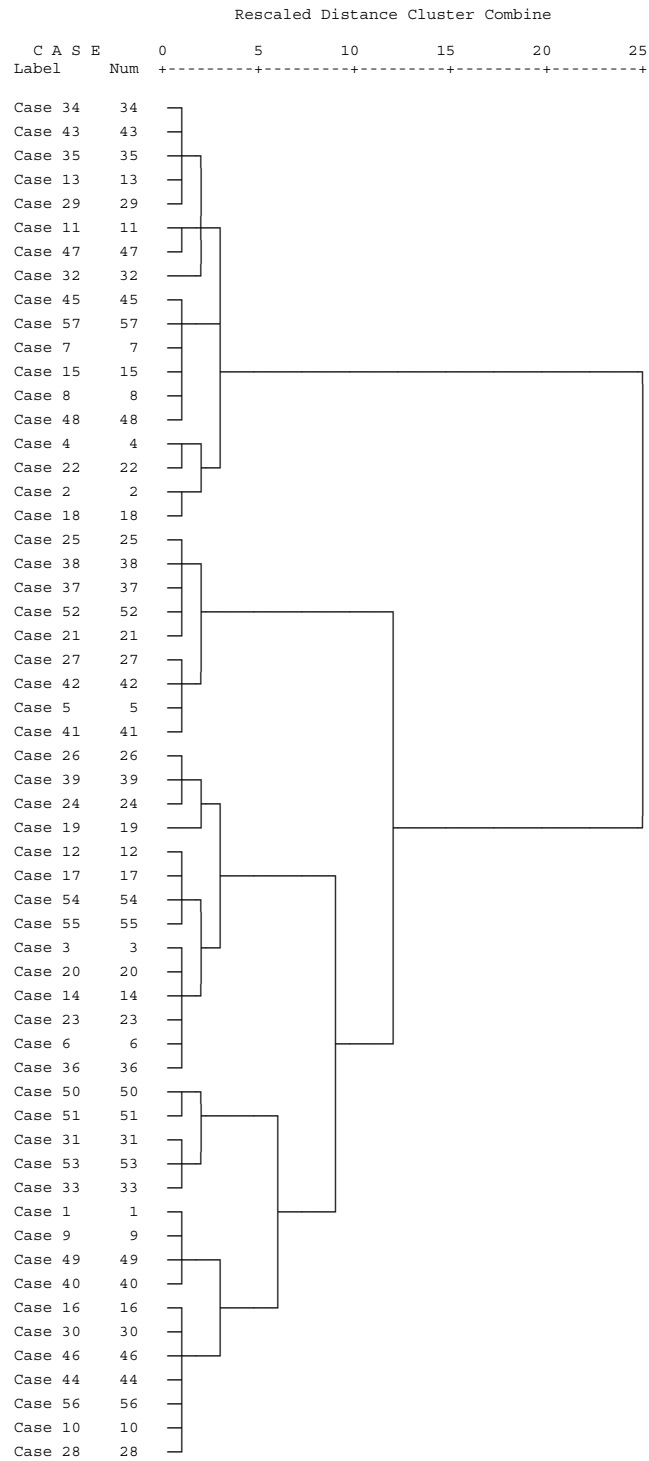
Vorerfahrung mit Computern:

Keine wenig mittel viel sehr viel.

Studienfach: _____

Semesteranzahl: ____

Anhang 7: Dendrogram der clusteranalytischen Gruppierung von Lernenden auf der Basis von Lernermerkmalen



Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen eines DFG-Projekts zu instruktionalen Maßnahmen zur Unterstützung beispielbasierten Lernens im Bereich empirischer Forschungsmethoden am Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie der Universität München.

Mein besonderer Dank gilt dem damaligen Projektleiter, Prof. Dr. Robin Stark für seine Hilfe bei der Versuchsplanung und die vielen produktiven Kommentare zu dieser Arbeit und Herrn Prof. Dr. Heinz Mandl für seine geduldige und wohlwollende Unterstützung während der letzten Jahre, in denen ich krankheitsbedingt immer wieder Rückschläge in Kauf nehmen musste.

Bei Herrn Oliver Bürg, Frau Verena Arnold, Frau Christina Maßen und Herrn Michael Kuhn bedanke ich mich für ihr großes Engagement bei der Organisation und Durchführung der Untersuchung.

Frau Nadira Faulmüller, Frau Jana Konschak, M.A. und Frau Birgitta Kopp, M.A. trugen durch hilfreiche Kommentare sehr zur Lesbarkeit dieser Arbeit bei und halfen bei der Korrektur. Ohne die Unterstützung von Frau Kopp bei der Formatierung der Arbeit wäre ich wohl heute noch nicht fertig.

Lebenslauf

Michael Christian Karl Tyroller

geboren am 10.01.1967 in Immenstadt

06/87	Gertrud-v.-le-Fort-Gymnasium Abitur	Oberstdorf
1989 bis 1991	Eberhard-Karls-Universität Studium der Philosophie	Tübingen
1991 bis 1995	Ludwig-Maximilians- Universität Studium der Philosophie, MA in Philosophie	München
1995 bis 1996	VisionLab AG Unternehmensberaterische Tätigkeit in BRD und USA	München, New York, San Jose
1996 bis 2001	Ludwig-Maximilians-Universität Studium der Psychologie, Diplom in Psychologie	München
04/2001 bis 08/2001	TCW GmbH EDV unterstützte Unternehmensanalyse für eine Investmentbank	Frankfurt
09/2001 bis 09/2003	Ludwig-Maximilians-Universität Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Lehr-Lern- Forschung	München
Seit 09/2002	Ludwig-Maximilians-Universität Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Psycho- onkologie	München
Seit 10/2003	Akademie für Psychoanalyse und Psychotherapie Weiterbildung zum psychologischen Psychotherapeut	München